



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 35 568 A 1

51 Int. Cl. 7:
G 03 F 7/20
G 02 B 19/00

21 Aktenzeichen: 199 35 568.1
22 Anmeldetag: 30. 7. 1999
43 Offenlegungstag: 15. 2. 2001

DE 199 35 568 A 1

71 Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE
74 Vertreter:
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

72 Erfinder:
Schultz, Jörg, 73430 Aalen, DE

56 Entgegenhaltungen:
DE 197 16 794 A1
US 58 96 438
US 55 81 605
US 53 79 090
US 53 63 170
US 53 05 054
WO 99 57 732 A1

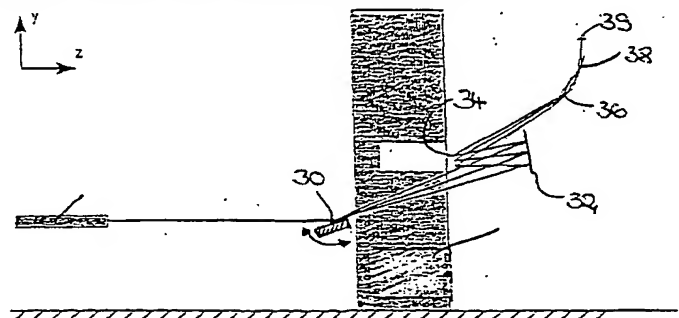
BEST AVAILABLE COPY

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Steuerung der Beleuchtungsverteilung in der Austrittspupille eines EUV-Beleuchtungssystems

57 Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen 6 193 nm, insbesondere für die EUV-Lithographie mit mindestens einer Lichtquelle; mindestens einer Spiegel- oder Linsenvorrichtung, umfassend mindestens einen Spiegel oder eine Linse, der bzw. die in Rasterelemente gegliedert ist; einem oder mehreren optischen Elementen, das bzw. die von der Spiegel- oder Linsenvorrichtung mit Rasterelementen erzeugten sekundären Lichtquellen in die Austrittspupille des Beleuchtungssystems abbildet bzw. abbilden. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß zum Erzeugen einer vorbestimmten Lichtverteilung in der Austrittspupille des Beleuchtungssystems Mittel zwischen Lichtquelle und sekundärer Lichtquelle vorgesehen sind und die Anzahl und/oder Form der Rasterelemente, die von den Mitteln zum Erzeugen einer entsprechenden Lichtverteilung beleuchtet werden, derart gewählt wird, daß eine vorbestimmte Uniformität der Felddausleuchtung in der Objekt- beziehungsweise Retikelebene erreicht wird.



DE 199 35 568 A 1

Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem, insbesondere ein solches für die Lithographie also beispielsweise VUV und EUV-Lithographie mit Wellenlängen kleiner gleich 193 nm, wobei das Beleuchtungssystem wenigstens eine Lichtquelle, einen Spiegel oder Linse umfassend Rasterelemente zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen sowie optische Komponenten zur Abbildung der sekundären Lichtquellen in die Austrittspupille des Beleuchtungssystems umfaßt.

Um die Strukturbreiten für elektronische Bauteile noch weiter reduzieren zu können, insbesondere in den Submikron-Bereich, ist es erforderlich, die Wellenlänge des für die Mikrolithographie eingesetzten Lichtes zu verringern.

Denkbar ist bei Wellenlängen kleiner als 193 nm beispielsweise die Lithographie mit weichen Röntgenstrahlen wie sie aus der US 5339346 bekannt geworden ist.

Neben der Beleuchtung gemäß der US 5339346, die mindestens vier paarweise symmetrisch zur Quelle angeordnete Spiegelfacetten benötigt, kann man Beleuchtungssysteme vorsehen, die beispielsweise mit Hilfe von reflektiven Wabenplatten zur homogenen Beleuchtung des Ringfeldes eines Belichtungsobjektives arbeiten. Solche Systeme haben den Vorteil, daß das Feld eines Objektives mit möglichst wenigen Reflexionen homogen beleuchtet wird, des weiteren eine feldunabhängige Ausleuchtung der Pupille bis zu einem bestimmten Füllgrad gewährleistet ist.

Reflektive Wabenplatten für EUV-Beleuchtungssysteme sind aus der US 5581605 bekannt geworden.

Der Offenbarungsgehalt sämtlicher vorgenannter Schriften US 5 339 346 sowie US 5 581 605 wird in vorliegender Anmeldung vollumfänglich mit aufgenommen.

Eine Steigerung von Auflösung und Tiefenschärfe bei VUV und EUV-Beleuchtungssystemen ist möglich, wenn je nach Maskenstruktur, d. h. je nach zu beleuchtendem Retikel, die Ausleuchtung der Maske eingestellt werden kann. Im Stand der Technik erfolgte die Steuerung des Beleuchtungssettings in der Regel mit einer Blende, die dem Spiegel bzw. der Linse mit Rasterelementen nachgeordnet ist. Diesbezüglich wird beispielsweise auf die

US-A 5 526 093

JP-A-100 92 727

JP-A-102 75 771

JP-A-100 62 710

JP-A-090 63 943

verwiesen.

Aus der JP-A-103 031 23 ist ein Beleuchtungssystem mit einer Hg-Lampe für Wellenlängen > 248 nm bekanntgeworden, bei dem vor einem optischen Integrator eine Scanblende angeordnet ist, die eine vorbestimmte Lichtmenge in den optischen Integrator einsteuert, so daß sich in einer Blendenebene eine bestimmte Lichtverteilung ergibt.

Die US-A-5 379 090 zeigt ebenfalls ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen < 248 nm mit einer Hg-Lampe. Das System gemäß der US-A-5 379 090 umfaßt ein Vario- bzw. Zoomobjektiv mit dem die Größe der sekundären Lichtquelle eingestellt wird. Zusätzlich wird eine Blende zum Formen der Lichtverteilung auf der zu beleuchtenden Maske eingesetzt.

Aus der US 5 896 438 ist ein EUV-Beleuchtungssystem mit Undulator-Lichtquelle bekannt geworden, bei dem mittels eines Scan-Spiegels ein optischer Integrator mit Rasterelementen ausgeleuchtet werden kann. Aufgabe des Scan-Spiegels bei dieser Beleuchtungs-Einrichtung ist eine Kohärenzerhöhung durch einen Winkel-Scan des EUV-Lichtstrahles. Inwieweit durch das Einbringen eines Scan-Spiegels die Qualität der Maskenbeleuchtung, das heißt der Beleuchtung des Retikels beeinflußt wird, ist aus der US 5 896 438 nicht bekannt geworden.

Der Offenbarungsgehalt der US 5 896 438 wird in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung vollumfänglich mit aufgenommen.

Nachteilig an dem EUV-System aus dem Stand der Technik war, daß die Steuerung der Lichtverteilung in der Blendenebene mit Masken mit einem beträchtlichen Lichtverlust verbunden war oder eine vorgebbare Uniformität in der Objekt- bzw. Retikelebene nicht erreicht wurde, wenn die Durchmischung oder die Zahl der ausgeleuchteten Waben zu gering war.

Aufgabe der Erfindung ist es somit, ein EUV-Beleuchtungssystem anzugeben, mit dem die zuvor angegebenen Nachteile im Stand der Technik vermieden werden können. Insbesondere soll für beliebige VUV- und EUV-Quellen ein System angegeben werden, bei dem die Steuerung der Lichtverteilung in der Austrittspupille des Beleuchtungssystems bei gleichzeitig homogener Ausleuchtung der Objekt- bzw. Retikelebene möglich ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein EUV-Beleuchtungssystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die Erfinder haben erkannt, daß durch den Einsatz eines Scan-Spiegels bei variabler Ausleuchtung eines Spiegels oder einer Linse mit Rasterelementen die Uniformität in der Retikelebene beim Scan verringert werden kann.

Erfindungsgemäß ist daher vorgesehen, die Anzahl der beleuchteten Rasterelemente an die gewünschte Uniformität der Feldausleuchtung anzupassen.

Als Lichtquellen für EUV Beleuchtungssysteme werden derzeit diskutiert:

Laser-Plasma-Quellen

Pinch-Plasma-Quellen

Synchrotron-Strahlungsquellen

Bei Laser-Plasma-Quellen wird ein intensiver Laserstrahl auf ein Target (Festkörper, Gasjet, Tröpfchen) fokussiert. Durch die Anregung wird das Target so stark erhitzt, daß ein Plasma entsteht. Dieses emittiert EUV-Strahlung.

Typische Laser-Plasma-Quellen weisen eine kugelförmige Abstrahlung auf, d. h. einen Abstrahlwinkelbereich von 4π sowie einen Durchmesser von 50 μm –200 μm .

Bei Pinch-Plasma-Quellen wird das Plasma über elektrische Anregung erzeugt.

Pinch-Plasma-Quellen lassen sich als Volumenstrahler ($\varnothing = 1.00\text{ mm}$) beschreiben, die in 4π abstrahlen, wobei die Abstrahlcharakteristik durch die Quellgeometrie gegeben ist.

Bei Synchrotronstrahlungsquellen kann man derzeit drei Arten von Quellen unterscheiden:

- Bending-Magneten
- Wiggler
- Undulatoren

Bei Bending-Magnet-Quellen werden die Elektronen durch einen Bending-Magneten abgelenkt und Photonen-Strahlung emittiert. 5

Wiggler-Quellen umfassen zur Ablenkung des Elektrons bzw. eines Elektronenstrahles einen sogenannten Wiggler, der eine Vielzahl von aneinandergereihten abwechselnd gepolten Magnetpaaren umfaßt. Durchläuft ein Elektron einen Wiggler, so wird das Elektron einem periodischen, vertikalen Magnetfeld ausgesetzt; das Elektron oszilliert dementsprechend in der horizontalen Ebene. Wiggler zeichnen sich weiter dadurch aus, daß keine Kohärenzeffekte auftreten. Die mittels eines Wigners erzeugte Synchrotronstrahlung ähnelt der eines Bending-Magneten und strahlt in einen horizontalen Raumwinkel ab. Sie weist im Gegensatz zum Bending-Magneten einen um die Anzahl der Pole des Wigners verstärkten Fluß auf. 10

Der Übergang von Wiggler-Quellen zu Undulator-Quellen ist fließend.

Bei Undulator-Quellen werden die Elektronen im Undulator einem Magnetfeld mit kürzerer Periode und geringerem Magnetfeld der Ablenkpolen als beim Wiggler ausgesetzt, so daß Interferenz-Effekte der Synchrotronstrahlung auftreten. Die Synchrotronstrahlung weist aufgrund der Interferenzeffekte ein diskontinuierliches Spektrum auf und strahlt sowohl horizontal wie vertikal in ein kleines Raumwinkelement ab; d. h. die Strahlung ist stark gerichtet. 15

Betreffend den prinzipiellen Aufbau von EUV-Beleuchtungssystemen wird auf die anhängigen Anmeldungen EP 99106348.8, eingereicht am 2.03.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Lithographie", US-Serial No. 09/305,017, eingereicht am 04.05.1999 mit dem Titel "Illumination system particularly for EUV-Lithography" sowie PCT/EP99/02999, eingereicht am 04.05.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Lithographie" der Anmelderin verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird. 20

In einer ersten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Mittel zur Erzeugung der Lichtverteilung einen Scan-Spiegel wie beispielsweise in der US 5 896 438 umfassen. Bevorzugt ist ein derartiger Scan-Spiegel ansteuerbar. Die Verwendung eines Scan-Spiegels hat den Vorteil einer verlustfreien Steuerung der Beleuchtungsverteilung. Insbesondere bietet sich die Verwendung eines Scan-Spiegels bei Lichtquellen mit kleinem Lichtleitwert, beispielsweise Undulator-Lichtquellen an, wobei bei derartigen Systemen Scan-Spiegel zur Erhöhung des Lichtleitwertes eingesetzt werden. 25

Durch eine entsprechende Steuerung der Scan-Bewegung kann der Spiegel mit den Rasterelementen zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen entsprechend ausgeleuchtet werden. In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß vor dem Spiegel mit Rasterelementen ein optisches System mit Zoom-Wirkung angeordnet ist. Mit einem derartigen optischen System können variable Brennweiten durch Verschieben einzelner optischer Komponenten bei konstanter Bildebene, die hier die Ebene des Spiegels mit Rasterelementen ist, beleuchtet werden. 30

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß zur Erzeugung einer Lichtverteilung vorbestimmter Größe die gesamte Kollektoreinheit bestehend beispielsweise aus Zerstreuspiegel und Sammellinse ausgetauscht wird. 35

Hierdurch ergibt sich beispielsweise die Möglichkeit, einen größeren oder kleineren Kreis auf der Feldwabenplatte auszuleuchten.

Für die Lichtverteilung in der Austrittspupille ergeben sich eine Vielzahl von Möglichkeiten. In einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß die Austrittspupille kreisförmig ausgeleuchtet wird. Alternativ zu einer kreisrunden Ausleuchtung kann eine ringförmige Ausleuchtung oder eine Quadropol-Beleuchtung vorgesehen sein. 40

Um bei Systemen, bei denen das Feld ein hohes Aspektverhältnis aufweist, die Uniformität der Feldausleuchtung sicherzustellen, ist mit Vorteil vorgesehen, daß die Rasterelemente des Spiegels oder Linse zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen Feldwaben mit einem geringeren Aspektverhältnis als das Feld umfassen und beispielsweise zylinder- und/oder toroidförmig ausgebildet sind. Dadurch wird die Zahl der unvollständig ausgeleuchteten Feldwaben verringert. Bezüglich der Wirkung derartigen Systeme wird auf die anhängige Anmeldung DE 199 31 848.4, eingereicht am 09.07.1999, mit dem Titel "Komponenten mit anamorphotischer Wirkung zur Reduzierung des Waben-Aspektverhältnisses bei EUV-Beleuchtungssystemen" verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen wird. 45

Neben dem Beleuchtungssystem stellt die Erfindung auch eine EUV-Projektionsanlage mit einem derartigen Beleuchtungssystem zur Verfügung sowie ein Verfahren zur Herstellung mikroelektronischer Bauelemente. 50

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher beschrieben werden.

Es zeigen:

Fig. 1A und 1B: prinzipieller Aufbau eines Beleuchtungssystems mit einer Undulator-Einheit als Lichtquelle; 55

Fig. 2A: Ausgestaltung eines Aufbaues gemäß Fig. 1;

Fig. 2B: Ausgestaltung eines Aufbaus gemäß Fig. 1 mit einem Scan-Spiegel;

Fig. 3: Beispiel für einen Spiegel mit darauf angeordneten Rasterelementen;

Fig. 4A: Verteilung der sekundären Lichtquelle in der Blendenebene bei einem Spiegel gemäß Fig. 3;

Fig. 4B-4M: eine zweite Ausführungsform einer EUV-Beleuchtungssystems mit Wiggler-Quelle; 60

Fig. 5: Zusammenhang zwischen Objektivapertur und Ausleuchtung zur Definition des Füllfaktors;

Fig. 6A: Ausleuchtung der Feldwabenplatte mit einem Füllfaktor $\sigma = 1,0$;

Fig. 6B: Ausleuchtung der Feldwabenplatte mit einem Füllfaktor $\sigma = 0,6$;

Fig. 6C: annulare Ausleuchtung der Feldwabenplatte mit einem Füllfaktor 65

$$\frac{\sigma_{out}}{\sigma_{in}} = \frac{1,0}{0,7}$$

Fig. 6D: Beleuchtung der Feldwabenplatte bei Quadrupol-Beleuchtung;

Fig. 7: Pupillenausleuchtung bei $\sigma = 1,0$ für den Feldpunkt auf der optischen Achse;

Fig. 8: Pupillenausleuchtung bei $\sigma = 1,0$ für einen Feldpunkt am Feldrand ($x = 40, y = 4,04$);

Fig. 9: Pupillenausleuchtung bei $\sigma = 0,6$ für den Feldpunkt auf der optischen Achse;

Fig. 10: Pupillenausleuchtung bei $\sigma = 0,6$ für einen Feldpunkt am Feldrand ($x = 40, y = 4,04$);

Fig. 11: Pupillenausleuchtung bei annularer Ausleuchtung für einen Feldpunkt auf der optischen Achse;

Fig. 12: Pupillenausleuchtung bei annularer Ausleuchtung für einen Feldpunkt am Feldrand ($x = 40, y = 4,04$);

Fig. 13: Pupillenausleuchtung bei quadrupolarer Ausleuchtung für einen Feldpunkt auf der optischen Ebene;

Fig. 14: Pupillenausleuchtung bei quadrupolarer Ausleuchtung für einen Feldpunkt am Feldrand ($x = 40, y = 4,04$);

Fig. 15: integrale Scan-Energie in der Retikelebene bei einer Beleuchtungsverteilung mit $\sigma = 1,0$ in der Austrittspupille;

Fig. 16: integrale Scan-Energie in der Retikelebene bei einer Beleuchtungsverteilung mit $\sigma = 0,6$ in der Austrittspupille;

Fig. 17: integrale Scan-Energie in der Retikelebene für eine annulare Beleuchtungsverteilung;

Fig. 18: integrale Scan-Energie in der Retikelebene bei quadrupolarer Beleuchtungsverteilung.

In den Fig. 1A und 1B wird beispielhaft der prinzipielle Aufbau eines EUV-Beleuchtungssystems mit einer Synchrotron-Strahlungslichtquelle, die vorliegend als Undulator ausgebildet ist, gezeigt, ohne daß die Erfindung hierauf beschränkt ist.

Undulator-Quellen weisen in der ausgezeichneten Ebene in die das vorbestimmte Wellenlängenspektrum abgestrahlt wird, eine Strahldivergenz < 100 mrad, vorzugsweise < 50 mrad auf. Handelt es sich bei der Lichtquelle um eine ausgedehnte Quelle, so kann es erforderlich werden, am Ort der sekundären Lichtquellen einen zweiten Spiegel oder eine zweite Linse mit Rasterelementen vorzusehen, um die Rasterelemente des ersten Spiegels oder Linse korrekt in die Retikelebene abzubilden.

In den Fig. 1A und 1B ist ein EUV-Beleuchtungssystem in einer refraktiven Darstellung zur prinzipiellen Erläuterung des Systems gezeigt. Die Strahlaufweitung des von der Strahlungsquelle 1 emittierten Strahles geschieht vorliegend mit Hilfe einer Zerstreuungslinse 3 bzw. Zerstreuungsspiegel ohne hierauf beschränkt zu sein.

Betreffend den Aufbau von Beleuchtungssystemen wird auf die anhängigen Anmeldungen EP 99106348.8, einreicht am 02.03.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Lithographie", US-Serial No. 09/305,017, eingereicht am 04.05.1999, mit dem Titel "Illumination system particularly for EUV-Lithography" sowie PCT/EP99/02999, eingereicht am 04.05.1999, mit dem Titel "Beleuchtungssystem, insbesondere für die EUV-Lithographie" der Anmelderin verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird.

Die sammelnde Wirkung zur Erzeugung der sekundären Lichtquelle 12 wird durch den der Zerstreuungslinse bzw. dem Zerstreuungsspiegel 3 nachgeordneten Sammelspiegel bzw. Sammellinse 5 aufgebracht. Die Mittel zur Strahlaufweitung und der Spiegel bzw. die Linse mit sammelnder Wirkung bilden eine sogenannte Kollektoreinheit bzw. ein Kollektorsystem 7 aus. Ohne Spiegel mit Rasterelementen würde der Sammelspiegel 5 die Quelle 1 in die Bildebene 9 des Beleuchtungssystems, wie in Fig. 1A gezeigt, abbilden. Mit dem Spiegel mit Rasterelementen 10 bzw. dem Facettenspiegel wird die sekundäre Lichtquelle 12 in eine Vielzahl von sekundären Lichtquellen 14 zerlegt, so daß eine Vielzahl von sekundären Lichtquellen 14 in der Blendenebene 16 erzeugt werden, wie in Fig. 1B dargestellt. Die Rasterelemente 10 des ersten Spiegels werden nachfolgend auch als Feldwaben bezeichnet.

Werden die in den Fig. 1A und 1B als refraktive Systeme aufgezeigten Beleuchtungssysteme beispielsweise für EUV-Strahlung designt, so müssen diese für die 13 nm-Strahlung reflektiv und aufgrund der hohen Reflektionsverluste mit möglichst wenigen Reflektionen umgesetzt werden.

Für eine Undulator-Quelle kann die Kollektoreinheit bei 13 nm-Strahlung aus einem ersten grazing incidence Spiegel oder einem Scanspiegel, der die Strahlung aufweitet, und einem zweiten normal incidence Spiegel, der wieder sammelnd auf die Strahlung wirkt, bestehen. Der Vorteil des Scan-Spiegels liegt darin, daß hiermit die Größe der Ausleuchtung variiert werden kann.

Um zu einem vorteilhaften Design bei 13 nm Wellenlänge zu gelangen, sind aufgrund der höheren Reflektivität grazing incidence Spiegel ($R \approx 80\%$) normal incidence Spiegeln ($R \approx 65\%$) vorzuziehen.

Vorteilhafterweise strahlt die Quelle in horizontaler Richtung ab.

Die den Spiegeln mit Rasterelementen nachgeordneten optischen Elemente dienen dazu, die Blendenebene des Beleuchtungssystems in die Eintrittspupille des Projektionsobjektives abzubilden und das Ringfeld zu formen. Des weiteren dienen sie dazu, die Beleuchtungsverteilung entsprechend den Anforderungen zu erzeugen.

Bei Stepper-Systemen wird eine Uniformität der Intensitätsverteilung innerhalb eines vorgegebenen Feldes $< 10\%$, vorzugsweise $< 5\%$, besonders bevorzugt $< 1\%$, gefordert.

Für die Uniformität der Intensitäts-Verteilung $E(x,y)$ gilt

$$\text{Uniformität} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100\%$$

wobei E_{\max} die maximale und E_{\min} die minimale Intensität innerhalb des vorgegebenen Feldes sind.

Bei Scanner-Systemen wird eine Uniformität der Scan-Energie $< 10\%$, bevorzugt $< 5\%$, besonders bevorzugt $< 1\%$, gefordert. Die Scan-Energie $SE(x)$ ergibt sich als Linienintegral:

$$SE(x) = \int E(x, y) dy$$

wobei $E(x, y)$ die Intensitätsverteilung in der x-y-Ebene ist,

entlang der Scan-Richtung, die beispielsweise die y-Richtung ist. Jeder Punkt auf dem Wafer enthält entsprechend seiner

x-Koordinate die Scan-Energie $SE(x)$.

Für die Uniformität der Scan-Energie gilt:

$$\text{Uniformität} = \frac{SE_{\max} - SE_{\min}}{SE_{\max} + SE_{\min}} \times 100\%$$

wobei SE_{\max} die maximale und SE_{\min} die minimale Scan-Energie entlang des Scan-Weges bezeichnet.

In Fig. 2A ist in schematischer Darstellung ein Beleuchtungssystem für 13 nm-Strahlung mit einer Synchrotron-Strahlungsquelle, in diesem Fall einem Undulator, gezeigt.

Das System besteht aus einem Kollektorspiegel 30, der als grazing incidence Toroidspiegel, der das Strahlbüschel aufweitet, ausgebildet ist und einem normal incidence Kollektorspiegel 32, der den Spiegel mit Rasterelementen 34 ausleuchtet.

In Fig. 2B ist dieselbe Anordnung wie in Fig. 2A gezeigt, jedoch ist der Spiegel 30, als Scan-Spiegel zur variablen Ausleuchtung des Spiegels mit Rasterelementen bzw. Feldwaben 34 ausgebildet.

Die Feldspiegel 36, 38 sind als grazing incidence Feldspiegel ausgebildet. Sie formen das Feld in der Retikelebene 39 und bilden die Blendenebene in die Austrittspupille ab.

Zur gleichmäßigen Verteilung der sekundären Lichtquellen in der Blendenebene wurden die Facettenzeilen 40 mit den einzelnen Rasterelementen auf dem Spiegel 34 versetzt zueinander angeordnet, wie in Fig. 3 gezeigt. Der Kreis 41 in Fig. 3 zeigt die Ausleuchtung des Spiegels mit Rasterelementen durch die EUV-Quelle 1. Das Aspektverhältnis der Rasterelemente 42 beträgt in dem dargestellten Fall 17,5 : 1.

Die Rasterelemente 42, die auch als Feldwaben nachfolgend bezeichnet werden, erzeugen in der Blendenebene des Beleuchtungssystems sekundäre Lichtquellen, deren Verteilung durch die Verteilung der Rasterelemente auf dem Spiegel vorgegeben ist.

Die sich in der Blendenebene ergebende Verteilung sekundärer Lichtquellen 44, bei Verwendung eines Spiegels mit Rasterelementen gemäß Fig. 3, ist in Fig. 4 gezeigt.

Die schattierte Fläche 46 in der Blendenebene gibt die maximale Blendenausleuchtung an, die von einem dem Beleuchtungssystem nachgeordneten Objektiv, dessen Eintrittspupille in vorliegendem Fall mit der Austrittspupille des Beleuchtungssystems zusammenfällt, aufgenommen werden kann.

Typischerweise beträgt die wafersseitige Apertur eines EUV-Beleuchtungssystems $NA_{\text{Wafer}} = 0,1$. Dies entspricht bei einem Objektivabbildungsmaßstab von $\beta = -0,25$ in der Retikelebene einer Apertur von $NA_{\text{Retikel}} = 0,025$ bzw. bei dem vorliegend betrachteten System einem Durchmesser von 70 mm auf der Feldwabenplatte.

Nachfolgend soll ein weiteres EUV-Beleuchtungssystem beispielhaft beschrieben werden.

Die für das nachfolgend beschriebene Design zugrundeliegende Wiggler-Quelle weist in horizontaler Richtung eine Apertur von 33 mrad, in vertikaler Richtung eine Apertur von 2 mrad auf. Die Länge der Quelle beträgt 2 m.

Das Beleuchtungssystem für diese Wiggler-Quelle geht von einer Doppelfacettierung, d. h. zwei Spiegeln mit Rasterelementen, aus, um zum einen die Quellstrahlung mit dem hohen Aspektverhältnis aufzunehmen und zum anderen die runde Pupille zu füllen.

Die Strahlung wird von einem grazing incidence Kollektorspiegel aufgenommen und in ein nahezu paralleles Strahlenbüschel umgewandelt. Die darauf folgende Feld- und Pupillenwabenplatten werden als normal incidence Spiegel betrieben. Die Feldwaben werden so verteilt, daß sie die ausgeleuchtete rechteckige Fläche optimal abdecken. Jeder Feldwabe wird anschließend eine Pupillenwabe zugeordnet, die auf einem radialen Gitter in der Blende des Beleuchtungssystems angeordnet sind. Die Anordnung der Pupillenwaben wird so korrigiert, daß Aberrationen der Feldlinse vorgehalten werden. Durch Kipp von Feld- und Pupillenwaben werden die Bilder der Feldwaben in der Retikelebene überlagert. Mit den beiden grazing incidence Feldspiegeln wird das Beleuchtungssystem an ein nachfolgendes Projektionsobjektiv angepaßt.

Feld- und Pupillenwabenplatte bestehen in diesem System aus sammelnden Waben, die einzeln gekippt und im Falle der Feldwaben auch ein hohes Aspektverhältnis aufweisen.

Ausgelegt ist das Beleuchtungssystem für folgendes Feld in der Retikelebene:

- 60°-Segment mit $r = 104$ mm und $\Delta r = \pm 4,0$ mm \rightarrow x-y-Aspektverhältnis von $108,9 \text{ mm}/8 \text{ mm} = 13,6/1$.
- Apertur in der Retikelebene $NA_{\text{Ret}} = 0,05$.
- Baulänge L zwischen Pupillenwabenplatte und Retikel: $L = 1000$ mm.
- Die Anzahl der Feldwaben wurde so gewählt, daß die Anforderungen an die Uniformität der Scan-Energie erfüllt werden können.

Die Kollektoreinheit ist so ausgelegt, daß sie die Feldwabenplatte der Größe $A = 160 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ ausleuchtet. Die Ausleuchtung ist dabei durch die Wirkung des grazing incidence Kollektorspiegels ringförmig, so daß nicht alle Feldwaben beleuchtet werden.

Die Form der Feldwaben wird rechteckig gewählt. Dabei entspricht das Aspektverhältnis der Feldwaben dem Verhältnis von Bogenlänge zu Ringbreite. Bei einer Wabengröße von $20 \text{ mm} \times 1,2 \text{ mm}$ werden 120 Feldwaben beleuchtet, so daß sich eine ausreichende Homogenität der Scan-Energie ergibt. Die sammelnde Wirkung jeder Feldwabe ist so ausgelegt, daß sie in der Blendenebene eine sekundäre Lichtquelle erzeugt.

Am Ort der sekundären Lichtquellen befinden sich die Pupillenwaben, die die Feldwaben in die Retikelebene abbilden. Der Ort der Pupillenwaben in der Blendenebene wird unabhängig von der Rasterung der Feldwaben gewählt. Sie sind so angeordnet, daß sie in der Austrittspupille des Beleuchtungssystems eine vorgegebene Verteilung erzeugen. Beispielsweise sind die Pupillenwaben auf einem radialen Gitter angeordnet. Zum Vorhalt von Pupillenaberrationen der nachfolgenden Feldlinse können sie auch auf einem verzeichneten Gitter angeordnet sein.

Jeder Feldwabe wird eine Pupillenwabe zugeordnet. Die Zuordnung von Feld- und Pupillenwaben kann nach ver-

schiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Eine Möglichkeit ist, jeweils die räumlich benachbarten Waben zuzuordnen. Dadurch werden die Umlenkwinkel minimal. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Intensitätsverteilung in der Pupillenebene zu homogenisieren. Dies kommt dann zum Tragen, wenn die Intensitätsverteilung in der Ebene der Feldwaben einen Verlauf aufweist. Haben Feld- und Pupillenwaben ähnliche Positionen, überträgt sich der Verlauf auf die Pupillenausleuchtung. Durch gezielte Durchmischung der Zuordnung kann die Intensität ausgeglichen werden. Durch Kipp von Feld- und Pupillenwabe werden die Strahlbüschel so umgelenkt, daß die Bilder der Feldwaben in der Retikelebene überlagert werden.

Ohne Feldlinse wird in der Retikelebene ein Rechteckfeld ausgeleuchtet. Der ausgeleuchtete Ring in der Retikelebene wird von den grazing incidence Feldspiegeln geformt. Sie bilden zudem die Blendenebene des Beleuchtungssystems in die Eintrittspupille des Objektivs ab und können den Verlauf der Scan-Energie steuern.

Zur Steuerung der Ausleuchtung der Austrittspupille des Beleuchtungssystems können eine Auswahl von Feld- oder Pupillenwaben maskiert werden bzw. unbeleuchtet bleiben. Denkbar ist auch, die Pupillenwaben bereits so anzuordnen, daß sich eine vorgegebene Ausleuchtung in der Austrittspupille ergibt. Beispielsweise wird durch die Anordnung der Pupillenwaben ein Ring in der Austrittspupille ausgeleuchtet. Durch Steuerung der Beleuchtung der Feldwabenplatte oder durch Maskierung der Pupillenwabenplatte kann ein Wechsel zu Quadrupol- oder Ringfeldausleuchtung vorgenommen werden.

In den Fig. 4B–4M ist ein EUV-Beleuchtungssystem mit Wiggler-Quelle gezeigt. Gleiche Bauteile wie in Fig. 1–4A sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

Fig. 4B zeigt eine schematische Darstellung des Kollektorspiegels 30 im y-z-Schnitt. Die Quelle befindet sich im Abstand von 1700 mm vor dem Kollektorspiegel.

Fig. 4C zeigt eine schematische Darstellung des Kollektorspiegels 30 im x-z-Schnitt.

In Fig. 4D ist das Beleuchtungssystem im y-z-Schnitt gezeigt. Die Quelle ist nicht eingezeichnet und befindet sich im Abstand von 1700 mm vor dem Kollektorspiegel 30.

Dargestellt sind der Kollektorspiegel 30, der erste Spiegel mit Rasterelementen, der auch als Feldwabenplatte 34 bezeichnet wird, der zweite Spiegel mit Rasterelementen, der auch als Pupillenwabenplatte 37 bezeichnet wird, die Feldlinsen 36, 38 sowie die Retikelebene 39.

Fig. 4E zeigt eine schematische Darstellung der Feldwabenplatte 34. Eingezeichnet ist auch die ringförmige Ausleuchtung. Zur besseren Darstellung sind alle Waben bzw. Rasterelemente 42 in x-y-Richtung ausgerichtet. Im realen System sind die Waben 42 durch Verkippung um ihre x- und y-Achse um ihre eigene z-Achse gedreht.

Fig. 4F zeigt eine schematische Darstellung der Pupillenwabenplatte 37. Die Pupillenwaben 43 sind auf Speichen angeordnet.

In Fig. 4G sind die Aufpunkte der Feldwaben 42, wie sie im ausgeführten Beispiel angeordnet sind, dargestellt.

Fig. 4H zeigt die Aufpunkte der Pupillenwaben 43, wie sie sich ohne Feldlinse 36, 38 ergeben würden und Fig. 4I die Aufpunkte der Pupillenwaben 43, wie sie sich mit Feldlinse 36, 38 ergeben. Die verzeichnete Anordnung der Pupillenwaben 43 kompensiert die Pupillenaberrationen der Feldlinse 36, 38.

Fig. 4K zeigt die Ausleuchtung der Retikelebene 39 mit dem Ringfeld bei dem in Fig. 4B–4I gezeigten System.

In Fig. 4L sind Intensitätsschnitte in der Retikelebene 39 bei x = 0,0 mm, 15,0 mm, 30,0 mm, 45,0 mm dargestellt.

Fig. 4M zeigt den Verlauf der Scan-Energie, die sich als Integral über die Intensitätsverteilung entlang des Scan-Weges ergibt.

Die Lichtverteilung bzw. das Beleuchtungssetting in der Austrittspupille, die vorliegend mit der Objektivpupille zusammenfällt, wird bei kreisförmiger Ausleuchtung durch den Füllfaktor σ definiert. Es gilt:

Füllfaktor:

$$\sigma = \frac{r_{\text{Beleuchtung}}}{R_{\text{Objektivapertur}}}$$

Die Parameter $r_{\text{Beleuchtung}}$ und $R_{\text{Objektivapertur}}$ sind aus Fig. 5 entnehmbar.

Definitionsgemäß ist für $\sigma = 1,0$ die Objektivpupille vollständig gefüllt; und beispielsweise $\sigma = 0,6$ entspricht einer Unterfüllung.

Bei einer annularen Lichtverteilung ist die Objektivpupille ringförmig ausgeleuchtet. Zu ihrer Beschreibung kann man folgende Definition von $\sigma_{\text{out}}/\sigma_{\text{in}}$ verwendet:

$$\sigma_{\text{out}} = \frac{r(90)}{R(NA_{\text{max}})} \quad \text{wobei} \quad \int_0^{r(90)} I(r) r dr = 0,9 \cdot \int_0^{R(NA_{\text{max}})} I(r) r dr$$

$$\sigma_{\text{in}} = \frac{r(10)}{R(NA_{\text{max}})} \quad \text{wobei} \quad \int_0^{r(10)} I(r) r dr = 0,1 \cdot \int_0^{R(NA_{\text{max}})} I(r) r dr$$

Eine weitere im nachfolgenden untersuchte Lichtverteilung ist die sogenannte Quadrupol-Beleuchtung zur Abbildung von beispielsweise "Manhattan-Strukturen".

Wie die Fig. 6A bis 6D zeigen, kann durch gezielte Ausleuchtung 41 der Feldwabenplatte die Anzahl der sekundären Lichtquellen 44 und damit die Blendenausleuchtung variiert werden. Die Fig. 6A bis 6D zeigen die Ausleuchtung der Feldwabenplatte mit Rasterelementen 40 und die zugehörige Verteilung der sekundären Lichtquellen 44 in der Austrittspupille 49 des Beleuchtungssystems, die zugleich Eintrittspupille des nachgeschalteten Objektivs ist. Gleiche Bauteile, wie in den Fig. 3–5 werden in den Fig. 6A–6D mit denselben Bezugsziffern belegt.

Fig. 6A zeigt die Ausleuchtung für einen Füllgrad $\sigma = 1,0$. In Fig. 6B ist eine kreisförmige Ausleuchtung mit einem Füllgrad von $\sigma = 0,6$ dargestellt. Fig. 6C zeigt ein annulares bzw. ringförmiges Setting mit

$$\frac{\sigma_{out}}{\sigma_{in}} = \frac{1,0}{0,7}$$

In Fig. 6D ist eine Quadrupol-Beleuchtung der Feldwabenplatte dargestellt.

5

In den Fig. 7 bis 18 sind die Ergebnisse von Simulationsrechnungen für die in den Fig. 6A–6D gezeigten verschiedenen Beleuchtungsverteilungen dargestellt.

Folgende Settings bzw. Verteilungen werden beispielhaft beschrieben:

1. kreisförmiges Setting mit $\sigma = 1,0$ Ausleuchtung der Feldwabenplatte mit einem Radius von $r = 35,0$ mm, was einer Apertur von $NA_{Ret} = 0,025$ entspricht. 10
2. kreisförmiges Setting mit $\sigma = 0,6$ kreisförmige Ausleuchtung der Feldwabenplatte mit Radius $r = 20,0$ mm.
3. annulares Setting mit

$$\frac{\sigma_{out}}{\sigma_{in}} = \frac{1,0}{0,7}$$

15

ringförmige Ausleuchtung der Feldwabenplatte mit Radius $r_{out} = 35,0$ mm und $r_{in} = 25$ mm.

4. Quadrupol-Setting vier kreisförmige Ausleuchtungen der Feldwabenplatte mit $r = 10$ mm auf den Diagonalen und mit einem Abstand $a = 21,2$ mm von der optischen Achse. 20

Die sich ergebende Pupillenausleuchtung bei Beleuchtung der Feldwabenplatte gemäß 1.–4. wird für den Achspunkt ($x = 0,0$; $y = 0,0$) und einen Feldpunkt bei ($x = 40,0$; $y = 4,041$) am Rand berechnet und in den Fig. 7–14 dargestellt.

Für den Fall eines Füllgrades $\sigma = 1,0$ (Fall 1) ist die Pupille bis zur Maximal-Apertur von $NA_{Ret} = 0,025$ mit 213 sekundären Lichtquellen gleichmäßig gefüllt. In Fig. 7 ist die Pupillenausleuchtung für den Feldpunkt in der Mitte der Retikelebene $x = 0$, $y = 0$ dargestellt. 25

Wie aus Fig. 8 für den Punkt am Feldrand $x = 40,0$, $y = 4,041$ hervorgeht, bleibt die Form der Pupillenausleuchtung auch am Feldrand erhalten. Die Pupille gemäß Fig. 8 ist insgesamt aber um den Offset des Schwerstrahlwinkels verschoben, wobei die optische Achse des Beleuchtungssystems in der Retikelebene das Bezugssystem darstellt.

Für einen Füllgrad von $\sigma = 0,6$ (Fall 2) ist die Pupille bis zur Apertur von $NA_{Ret} = 0,6 \cdot 0 \cdot 0,025 = 0,015$ mit 72 sekundären Lichtquellen gefüllt. Die Pupillenausleuchtung für den Feldpunkt in der Mitte der Retikelebene ($x = 0$, $y = 0$) ist in Fig. 9 gezeigt; die für den Feldpunkt am Rand ($x = 40,0$, $y = 4,041$) in Fig. 10. 30

Für ein ringförmiges Setting (Fall 3) mit

$$\frac{\sigma_{out}}{\sigma_{in}} = \frac{1,0}{0,7}$$

35

ist die Pupille zwischen der Apertur $NA_{out} = 0,025$ und $NA_{in} = 0,0175$ mit 102 sekundären Lichtquellen gefüllt. Die Ausleuchtung für den Feldpunkt in der Mitte der Retikelebene ($x = 0$, $y = 0$) ist in Fig. 11 gezeigt; die für den Punkt am Feldrand ($x = 40,0$, $y = 4,041$) in Fig. 12. 40

Bei Ausleuchtung der Wabenplatte mit einer Quadrupol-Beleuchtung (Fall 4) wird die Austrittspupille in den vier Segmenten mit jeweils 18 sekundären Lichtquellen gefüllt. Fig. 13 zeigt die Ausleuchtung für einen Punkt in der Feldmitte, Fig. 14 für einen Punkt am Feldrand.

Die Auswertung der Scan-Uniformität für die unterschiedlichen Beleuchtungssettings ist in den Fig. 15 bis 18 dargestellt. Es zeigt sich eine Abhängigkeit von der Beleuchtung der Wabenplatte, d. h. vom Setting. 45

Für einen Füllgrad $\sigma = 1,0$ bei kreisförmiger Ausleuchtung zeigt sich ein idealer Verlauf der Scan-Energie mit Uniformitäts-Einbußen $< 1\%$, wie aus Fig. 15 zu sehen.

Für einen Füllgrad $\sigma = 0,6$ bei kreisförmiger Ausleuchtung zeigen sich durch die Verringerung der Anzahl der am Mischprozeß beteiligten Feldwaben Uniformitäts-Einbußen von 2% wie aus Fig. 16 hervorgeht. Die Anzahl der Feldwaben betrug in dem vorangegangenen Beispiel für Füllgrad $\sigma = 1,0$ 213 Feldwaben, wohingegen bei $\sigma = 0,6$ nur 72 Feldwaben ausgeleuchtet werden und damit am Mischprozeß beteiligt sind. 50

Bei annularer Beleuchtung werden viele Feldwaben nur teilweise beleuchtet. Das hat zur Folge, daß bei Beteiligung von 102 Feldwaben gegenüber 213 Feldwaben bei $\sigma = 1,0$ am Mischprozeß die Uniformitäts-Einbuße 3%, wie in Fig. 17 gezeigt, beträgt. Die größere Uniformitäts-Einbuße bei annularer Beleuchtung gegenüber kreisförmiger Beleuchtung mit $\sigma = 0,6$ trotz der Beteiligung von mehr Feldwaben am Mischprozeß ist auf die nur teilweise Beleuchtung der Feldwaben zurückzuführen. 55

Bei Quadrupol-Beleuchtung zeigt die Scan-Energie eine charakteristische "4-Welligkeit" mit einer Uniformität von 5%, wie aus Fig. 18 hervorgeht. Diese kommt dadurch zustande, daß je nach Feldpunkt bei Quadrupol-Beleuchtung zusätzliche Feldwaben zur Beleuchtung beitragen können oder wegfallen und fast alle Feldwaben nur teilweise ausgeleuchtet sind. 60

Wie aus der beschriebenen Simulation hervorgeht, wird die variable Pupillenausleuchtung durch die geforderte Uniformität der Intensitätsverteilung bei Stepper-Systemen bzw. Uniformität der Scan-Energie bei Scanner Systemen limitiert. Allgemein gilt, daß je weniger Wabenbilder in der Retikelebene überlagert werden, desto schlechter die Durchmischung und somit die Uniformität der Feldausleuchtung ist. Möchte man für extreme Pupillenverteilungen, d. h. kleines σ bei kreisförmiger Ausleuchtung oder schmaler Ring bei annularer Ausleuchtung oder Quadrupol, die Uniformität steigern, so muß die Anzahl der Waben erhöht werden, was bei gleichbleibenden Abmessungen der Feldwabenplatte eine Verringerung der Wabenabmessungen und eine Erhöhung des Wabenabbildungsmaßstabes bedeutet. 65

Aufgrund des hohen Aspektverhältnisses von 17,5 : 1 der Waben in vorliegenden Ausführungsbeispielen werden die

Waben am Rand der beleuchteten Fläche nur teilweise ausgeleuchtet. Fig. 19 zeigt eine Konfiguration, bei der in jeder x-Zeile 98 nur zwei Feldwaben 100, 102 ausgeleuchtet werden. Jede Wabe 100, 102, die beleuchtet wird, erzeugt in der Blendenebene des Beleuchtungssystems eine sekundäre Lichtquelle 104. Die Verteilung der sekundären Lichtquellen 104 in der Blendenebene bei kreisrunder Beleuchtung der Feldwabenplatte ist folglich ellipfisch, da in x-Richtung weitere sekundäre Lichtquellen hinzukommen. Die Pupillenausleuchtung jedes einzelnen Feldpunktes in der Retikelebene bleibt jedoch kreisrund, da nicht jeder Feldpunkt Licht von jeder sekundären Lichtquelle bekommt. Anschaulich gesprochen wird die Pupillenverteilung für den Feldrand rechts- bzw. linkslastig, wie in Fig. 20 dargestellt.

Zur Reduzierung des Aspektverhältnisses können die einzelnen Waben so ausgebildet werden, daß sie eine anamorphotische Wirkung aufweisen, wie beispielsweise in der DE 199 31 848.4, eingereicht am 09.07.1999, für die Anmelde-
 10 rin beschrieben, deren Offenbarungsgehalt in die vorliegende Anmeldung vollumfänglich mit aufgenommen wird.

In Fig. 21 und 22 sind zwei Feldwabenplatten 34 mit gleicher Anzahl Feldwaben 42 dargestellt, wobei jedoch das Aspektverhältnis bzw. die Größe der Feldwaben 42 unterschiedlich ist. Das Aspektverhältnis der Waben 42.1 in Fig. 21 beträgt 17,5 : 1; das der Waben 42.2 in Fig. 22: 1. Wie aus dem Vergleich von Fig. 21 und Fig. 22 zu entnehmen, sind
 15 bei gleich großer Ausleuchtung 51 der Wabenplatten in Fig. 21 und Fig. 22 im Fall der quadratischen Waben 42.2 mehr Waben vollständig ausgeleuchtet als im Fall der Waben 42.1 mit hohem Aspektverhältnis. Dadurch ist die Uniformität der Ausleuchtung im Fall der quadratischen Waben homogener als im Fall einer Wabenplatte mit Waben mit hohem Aspektverhältnis.

Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere für die EUV-Lithographie mit
 - 1.1 mindestens einer Lichtquelle (1);
 - 1.2 mindestens einer Spiegel- oder Linsenvorrichtung, umfassend mindestens einen Spiegel oder eine Linse (34), der bzw. die in Rasterelemente (10, 40, 100, 102) gegliedert ist;
 - 1.3 einem oder mehreren optischen Elementen (36, 38), das bzw. die von der Spiegel- oder Linsenvorrichtung mit Rasterelementen erzeugten sekundären Lichtquellen in die Austrittspupille (9, 39) des Beleuchtungssystems abbildet bzw. abbilden, **dadurch gekennzeichnet**, daß
 - 1.4 Mittel zum Erzeugen einer vorbestimmten Lichtverteilung in der Austrittspupille (9, 39) des Beleuchtungssystems zwischen Lichtquelle und sekundärer Lichtquelle oder am Ort der sekundären Lichtquellen vorgesehen sind und
 - 1.5 die Anzahl und/oder Form der Rasterelemente (42.1, 42.2), die von den Mitteln zum Erzeugen einer entsprechenden Lichtverteilung beleuchtet werden, derart gewählt wird, daß eine vorbestimmte Uniformität der Feldausleuchtung in der Objekt- beziehungsweise Retikelebene erreicht wird.
2. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zum Erzeugen einer Lichtverteilung am Ort der sekundären Lichtquellen eine Maskierungsvorrichtung umfassen.
3. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zum Erzeugen einer Lichtverteilung vor dem Spiegel oder der Linse mit Rasterelementen angeordnet sind.
4. Beleuchtungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung der Lichtverteilung einen Scan-Spiegel umfassen.
5. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Scan-Spiegel ansteuerbar ist.
6. Beleuchtungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung der Lichtverteilung ein optisches System mit Zoom-Wirkung umfaßt.
7. Beleuchtungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die durch das optische System mit Zoom-Wirkung beleuchtete Ebene die des Spiegels oder der Linse mit Rasterelementen ist.
8. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1-7, dadurch gekennzeichnet, daß die Uniformität der Intensitätsverteilung innerhalb eines vorgegebenen Feldes $< 10\%$, vorzugsweise $< 5\%$, besonders bevorzugt $< 1\%$ ist.
9. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtverteilung in der Austrittspupille kreisförmig ist.
10. Beleuchtungssystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Füllgrad der kreisförmig ausgeleuchteten Austrittspupille $\sigma \leq 1,0$, insbesondere $\sigma \leq 0,6$ ist.
11. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtverteilung in der Austrittspupille ringförmig ist.
12. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtverteilung in der Austrittspupille eine Quadrupolverteilung ist.
13. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente des Spiegels oder der Linse derart geformt sind, daß sie anamorphotische Wirkung aufweisen.
14. Beleuchtungssystem nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente des Spiegels oder der Linse zylinder- und/oder toroidförmig zur Erzeugung einer anamorphotischen Wirkung ausgebildet sind.
15. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente des ersten Spiegels oder Linse rechteckige Form aufweisen.
16. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Aspektverhältnis des auszuleuchtenden Feldes größer als 2 : 1, insbesondere 13 : 1, vorzugsweise 17,5 : 1 ist.
17. Beleuchtungssystem nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente des ersten Spiegels oder Linse ein Aspektverhältnis aufweisen, das kleiner als das Aspektverhältnis des Feldes ist.
18. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung einer vorbestimmten Lichtverteilung auf dem Spiegel oder der Linse mit Rasterelementen die Spiegel oder Linsen der Kollektoreinheit umfassen, wobei mittels der Kollektoreinheit eine vorbestimmte Ausleuchtung eingestellt wird.
19. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung einer vorbe-

stimmten Lichtverteilung eine Wechseloptik umfassen.

20. EUV-Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie mit einem Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 19, einer Maske, einem Projektionsobjektiv sowie einem lichtempfindlichen Objekt, insbesondere einem Wafer auf einem Trägersystem.

21. EUV-Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie gemäß Anspruch 20, ausgeführt als Scanning-System.

22. EUV-Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie gemäß Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Uniformität der Scan-Energie innerhalb eines vorgegebenen Feldes < 10%, bevorzugt < 5%, besonders bevorzugt < 1%, ist.

23. Verfahren zur Herstellung mikroelektronischer Bauelemente, insbesondere Halbleiterchips mit einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem der Ansprüche 20 bis 22.

Hierzu 24 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG 1A

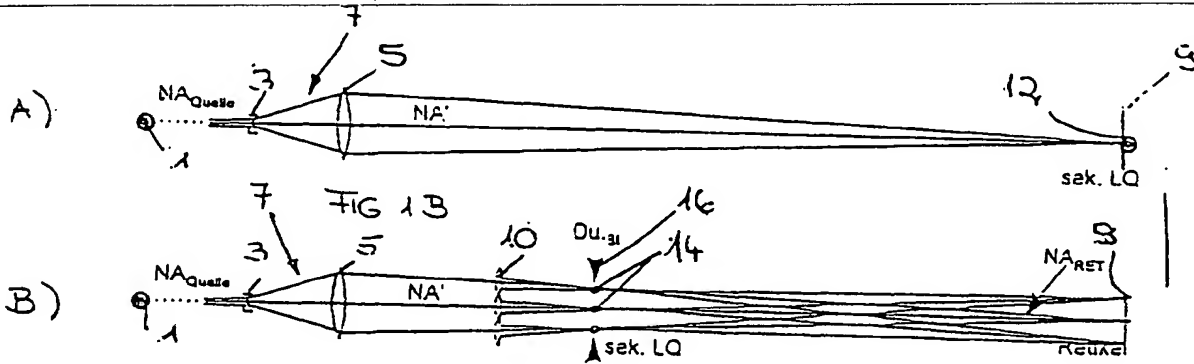


FIG. 2A

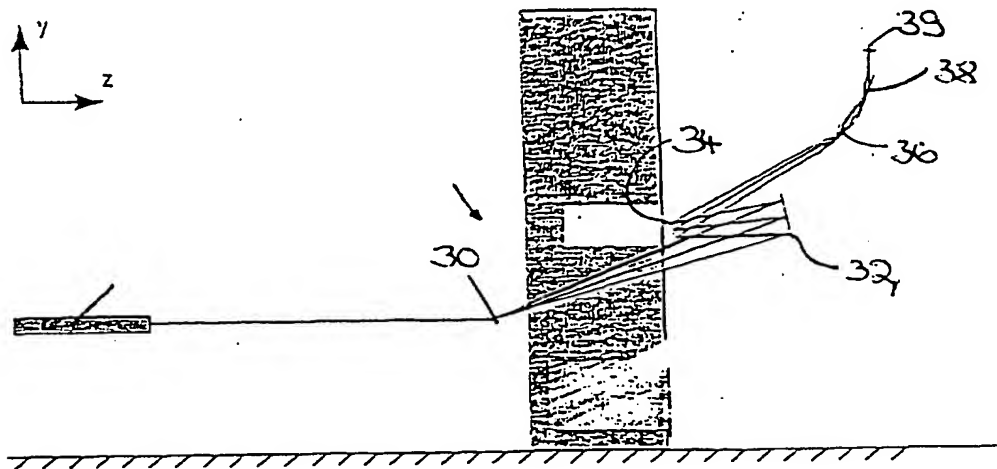
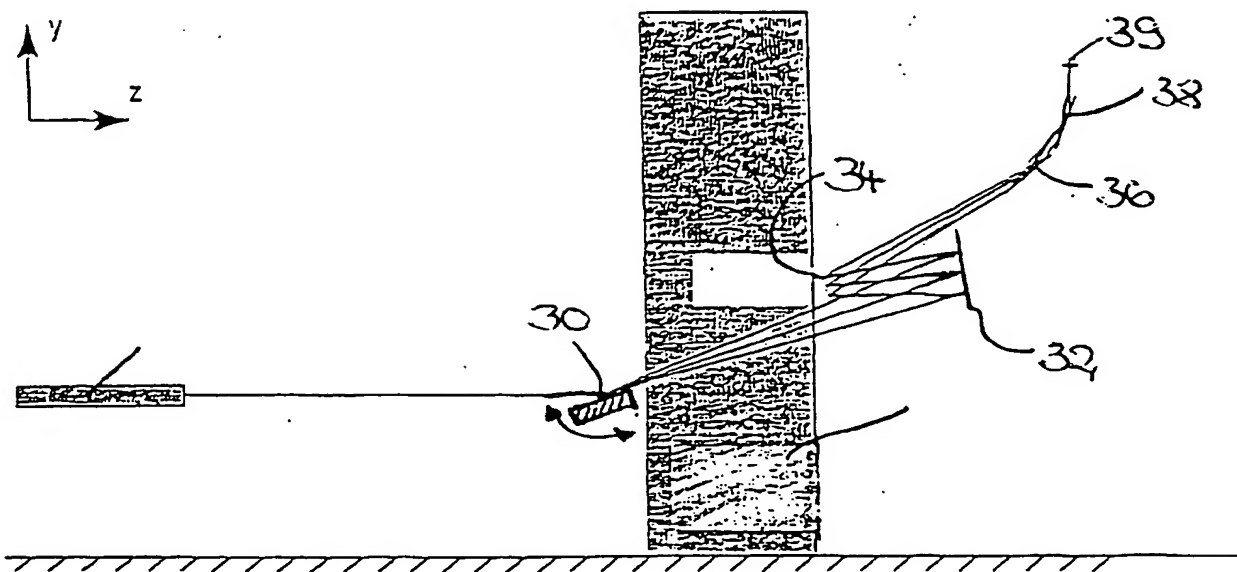


FIG. QB



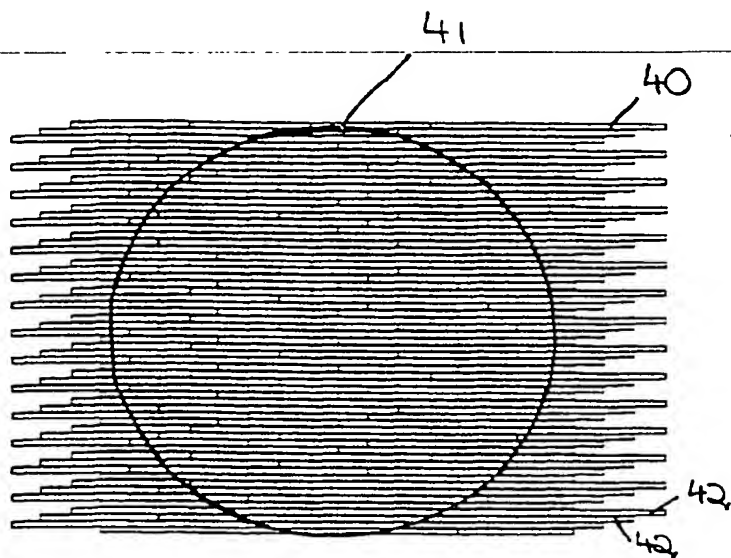


FIG. 3

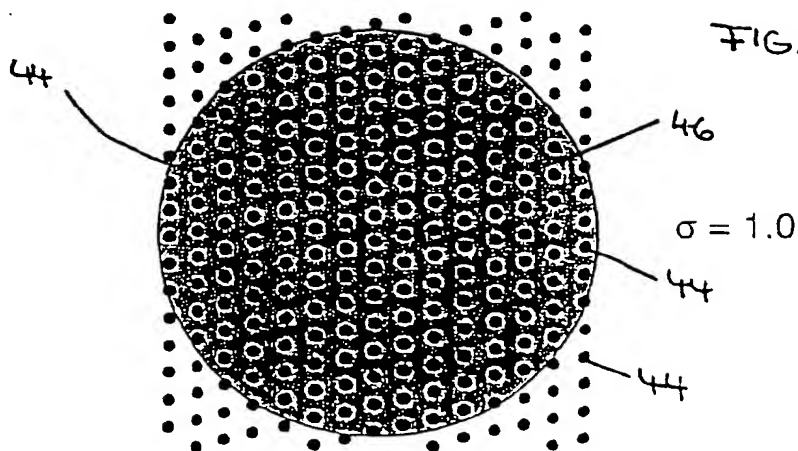
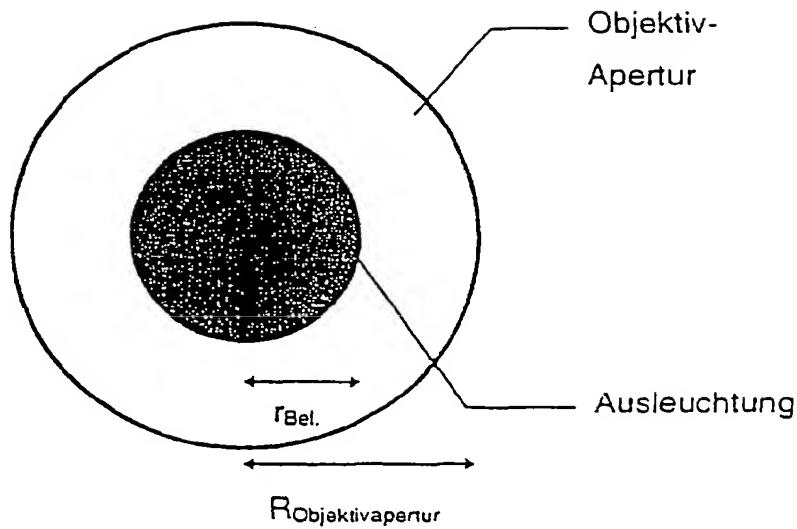
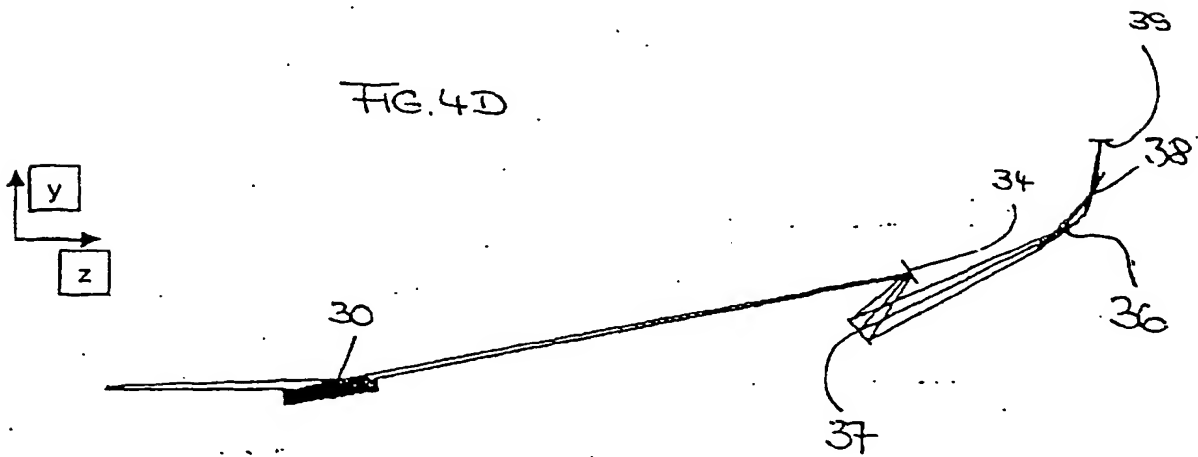
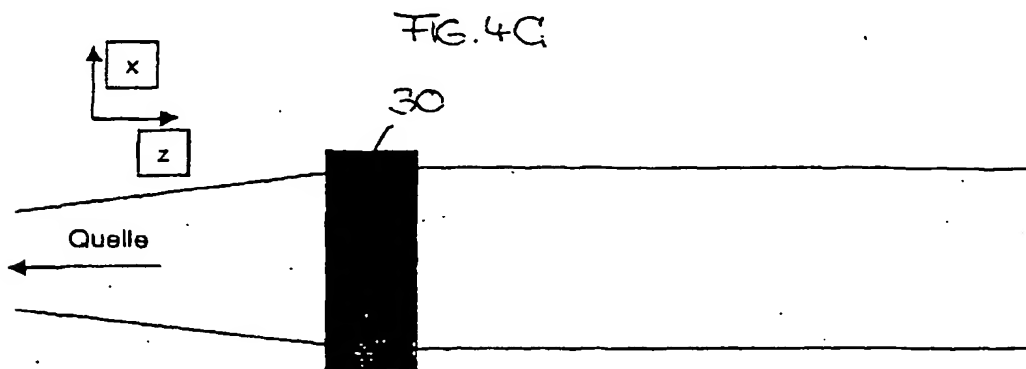
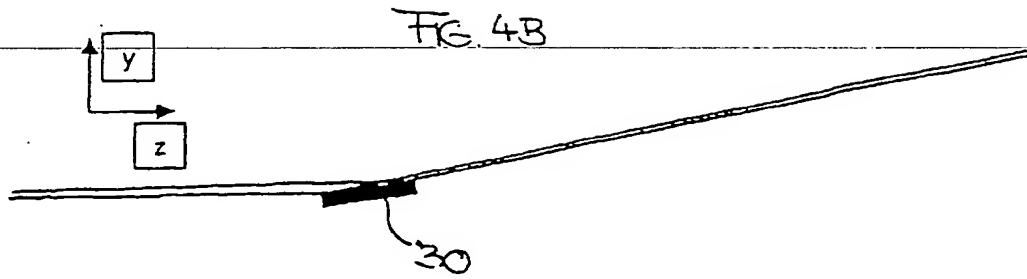


FIG. 4A

FIG 5





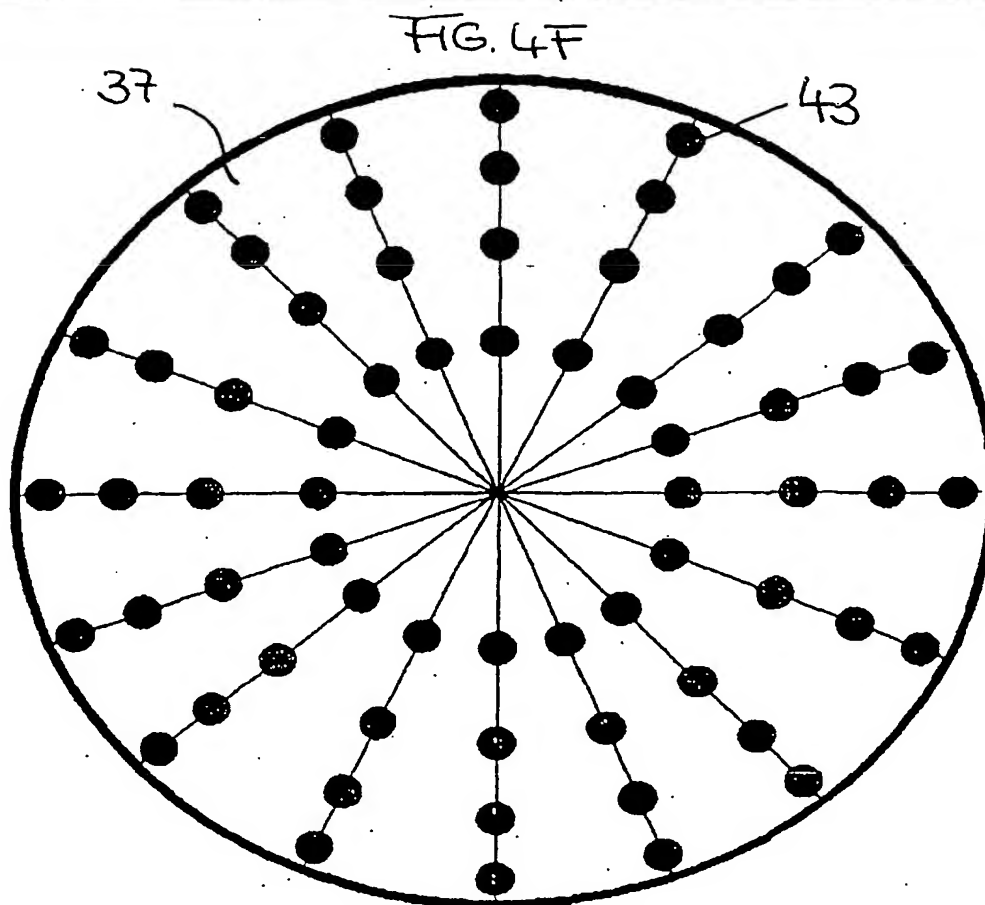
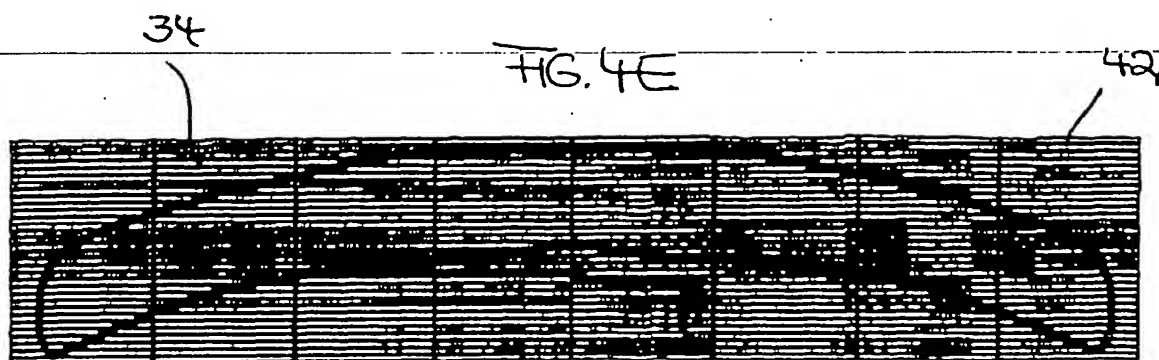


FIG. 4G

Anordnung der Feldwaben

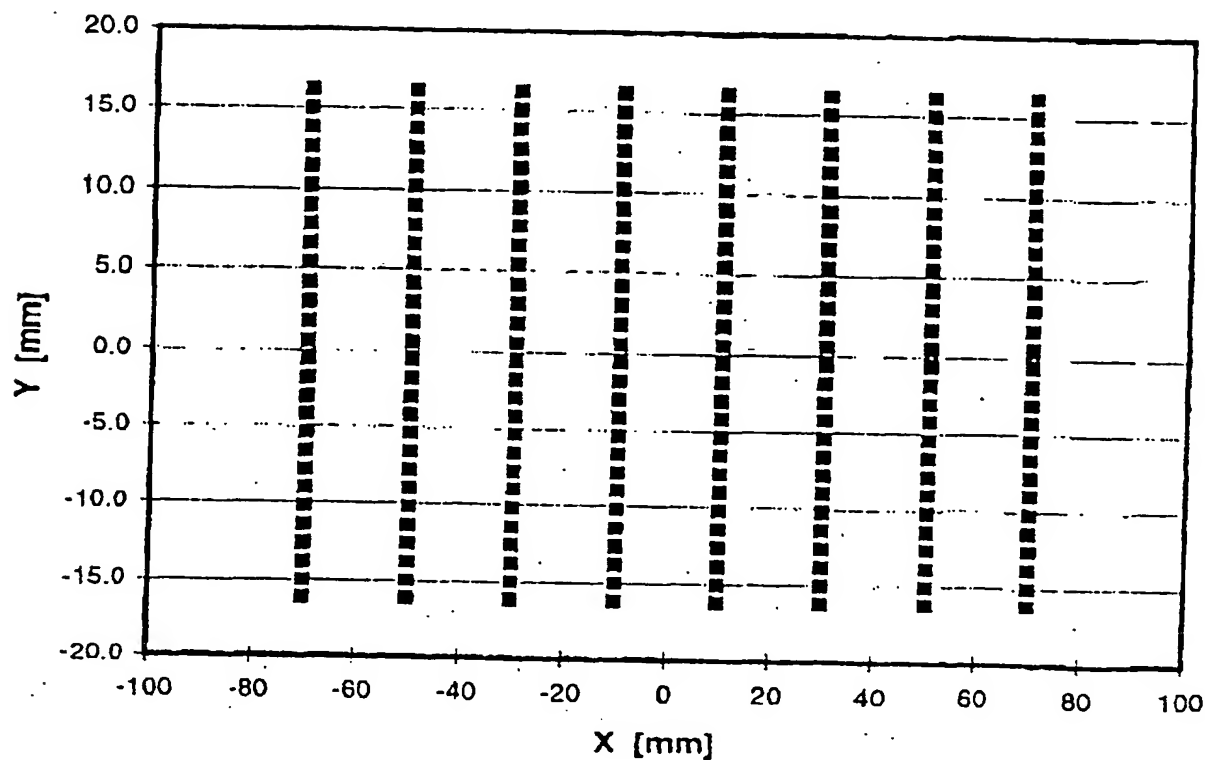


FIG. 4H

Anordnung der Pupillenwaben
in der Blendenebene des Beleuchtungssystems
ohne Feldlinse

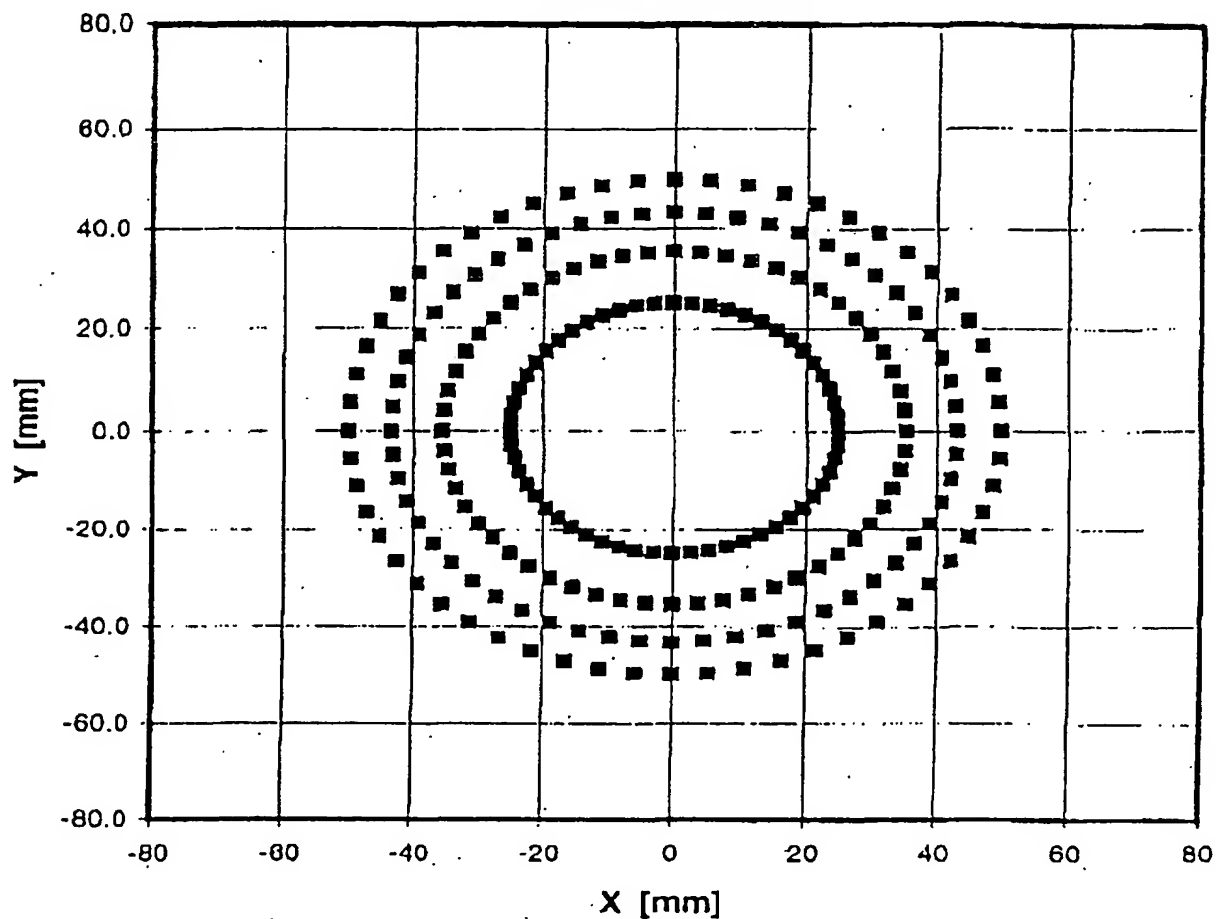
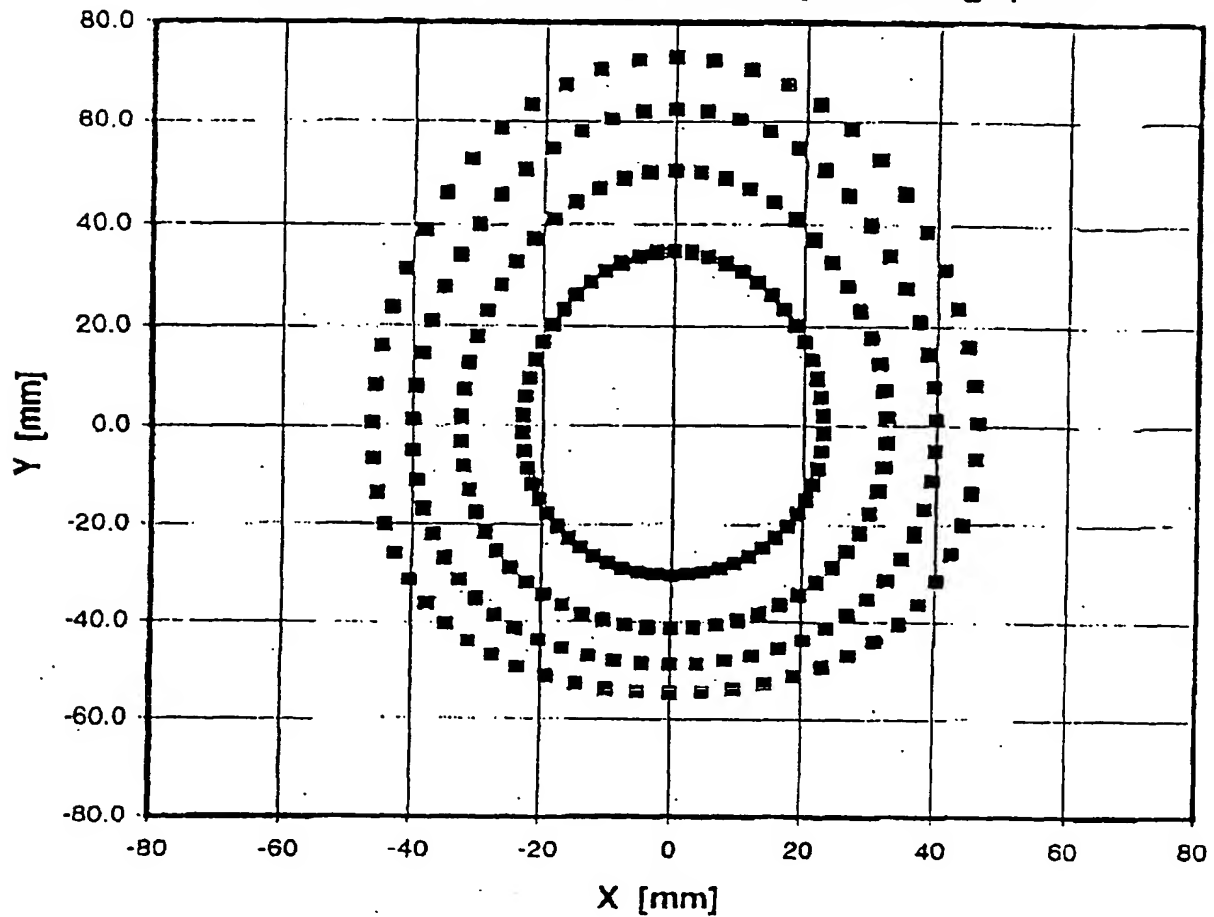


FIG. 4I

Anordnung der Pupillenwaben
In der Blendenebene des Beleuchtungssystems
Position an Feldlinse und Objektiv angepaßt



**Ausleuchtung der Retikelebene
mit Doppelfacetten-Wako mit Feldlinse;
Punktlichtquelle**

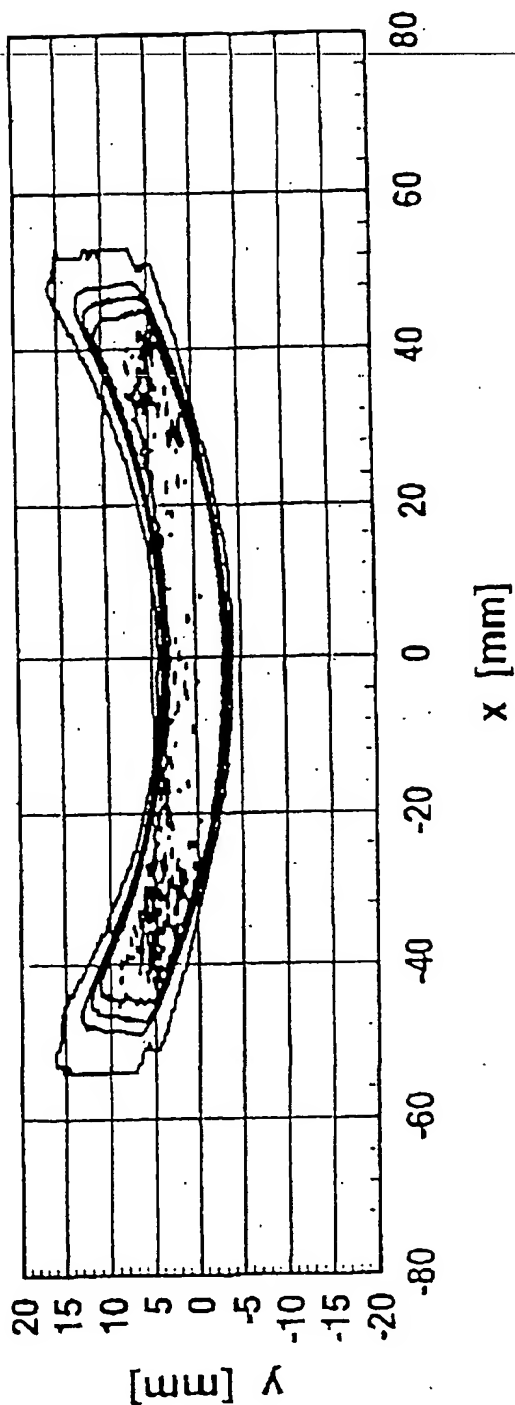


FIG. 4K

FIG. 4L

Intensitätsverlauf in Scanrichtung Doppelfacetten-WaKo für Wiggler-Quelle

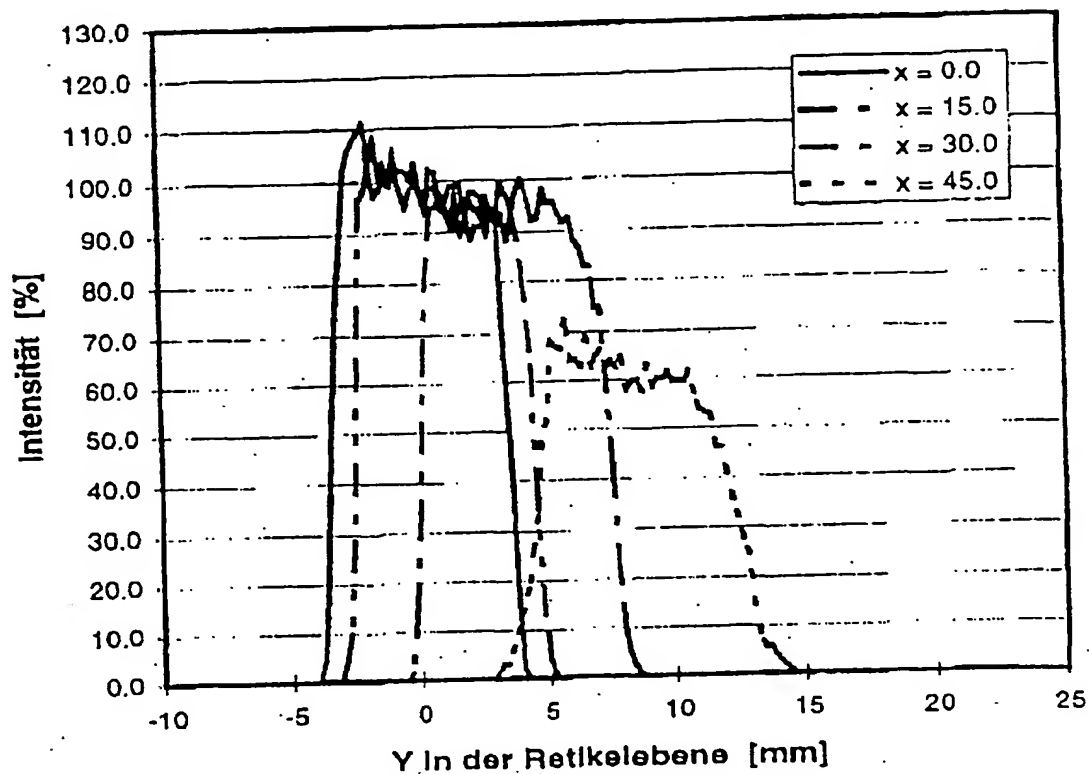


FIG. 4M

Integrale Scanenergie in der Retikelebene
Doppelfacetten-WaKo für Wiggler-Quelle

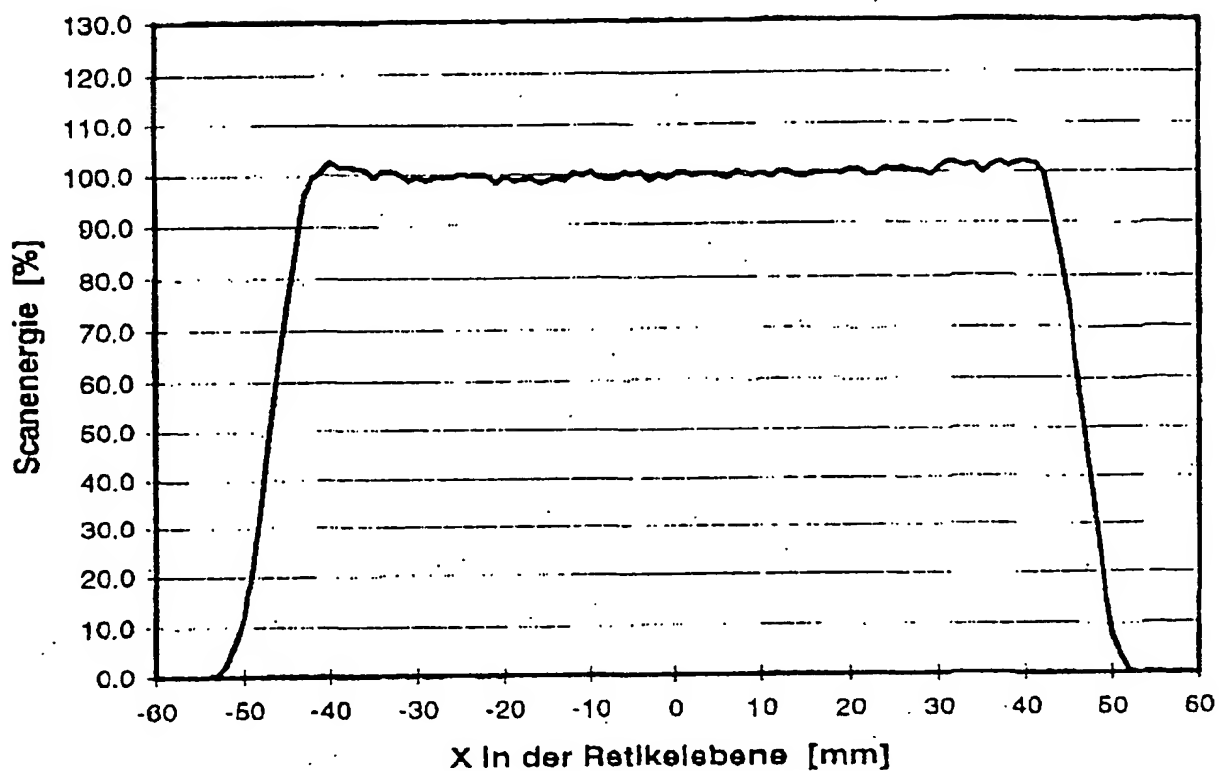


FIG 6A

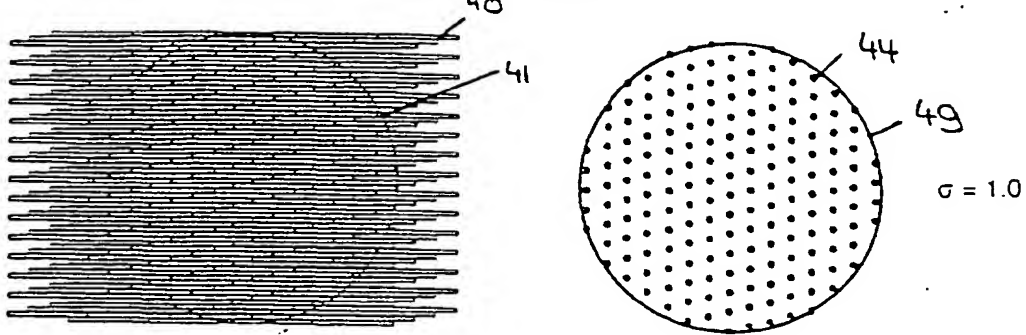


FIG 6B

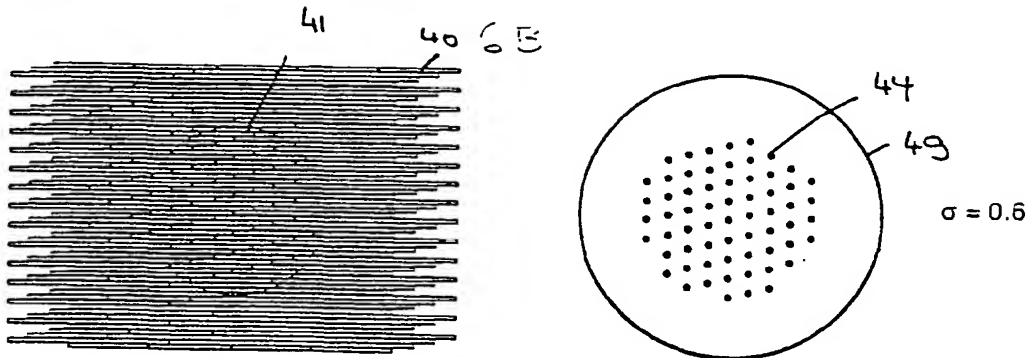


FIG 6C

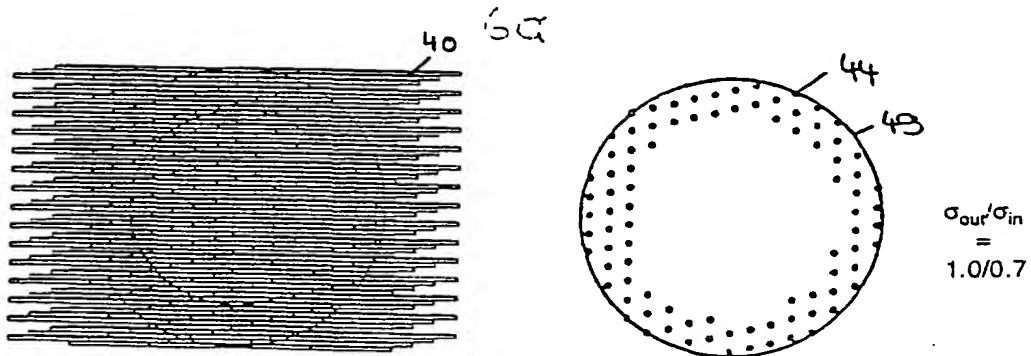
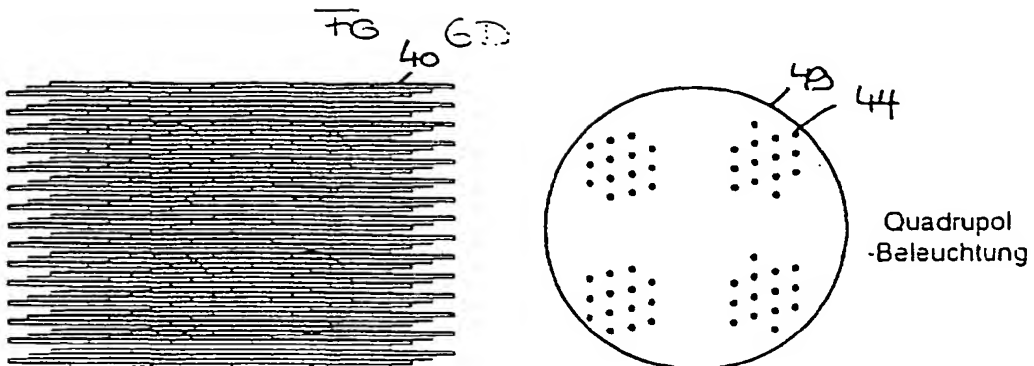
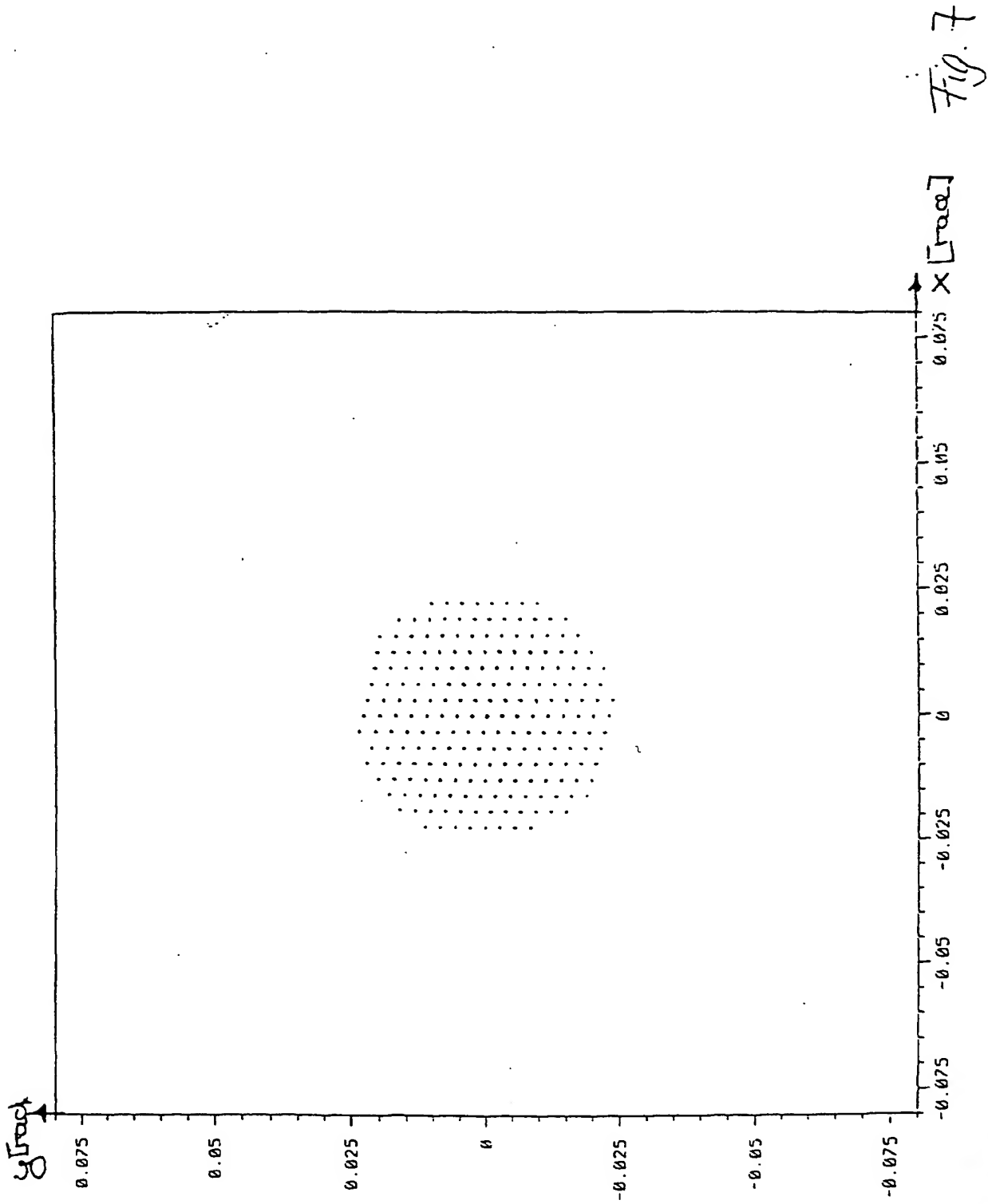
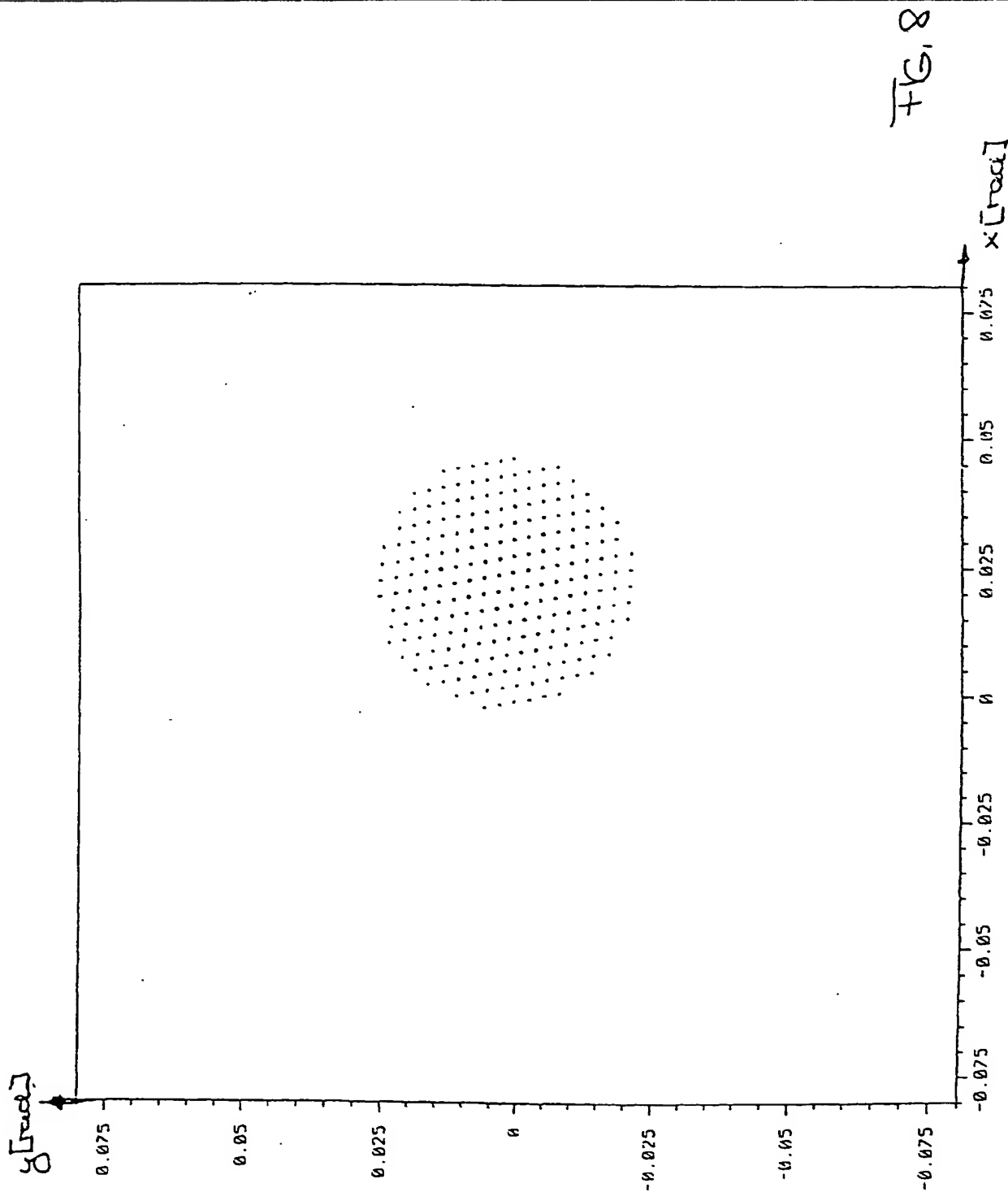
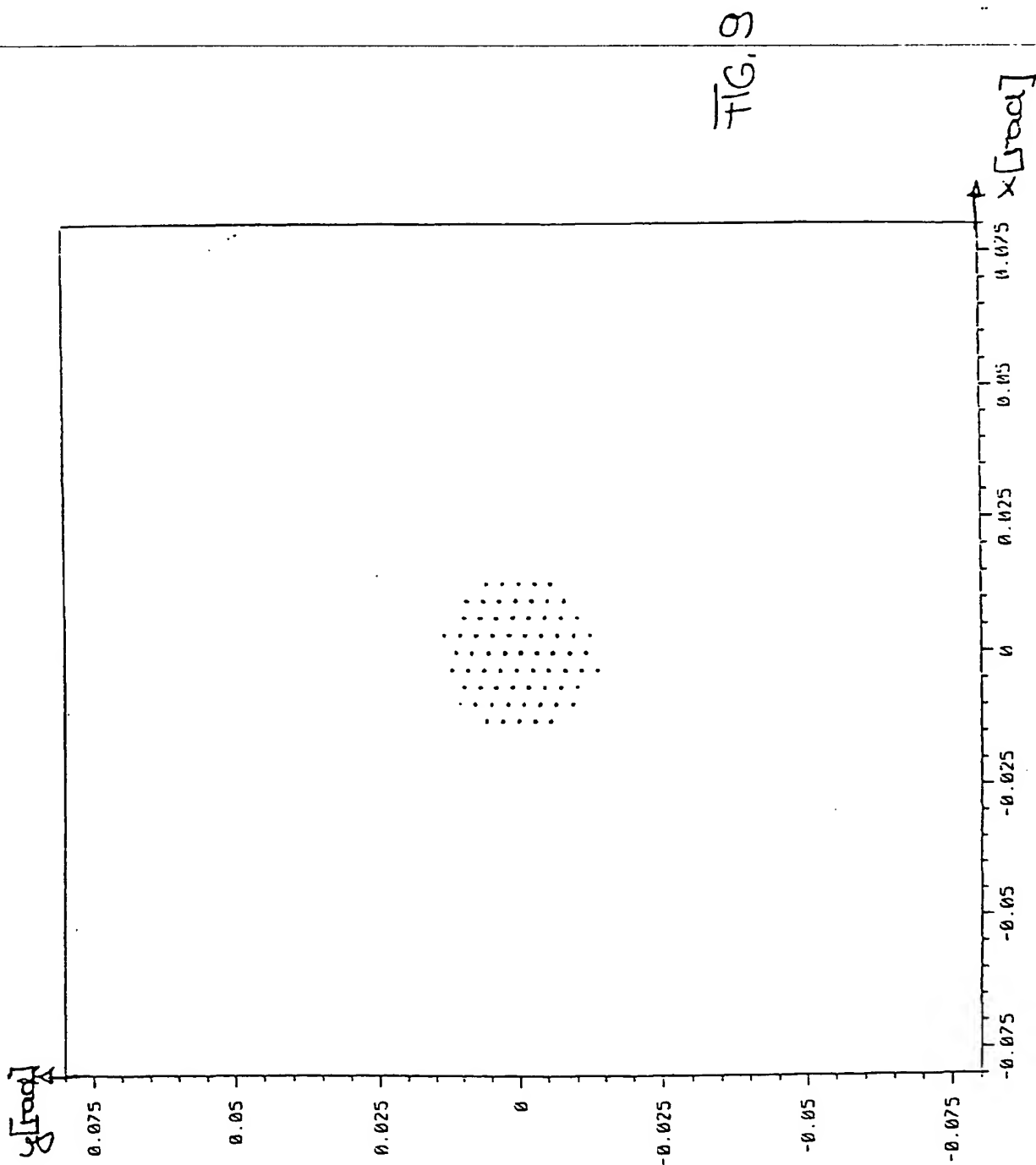


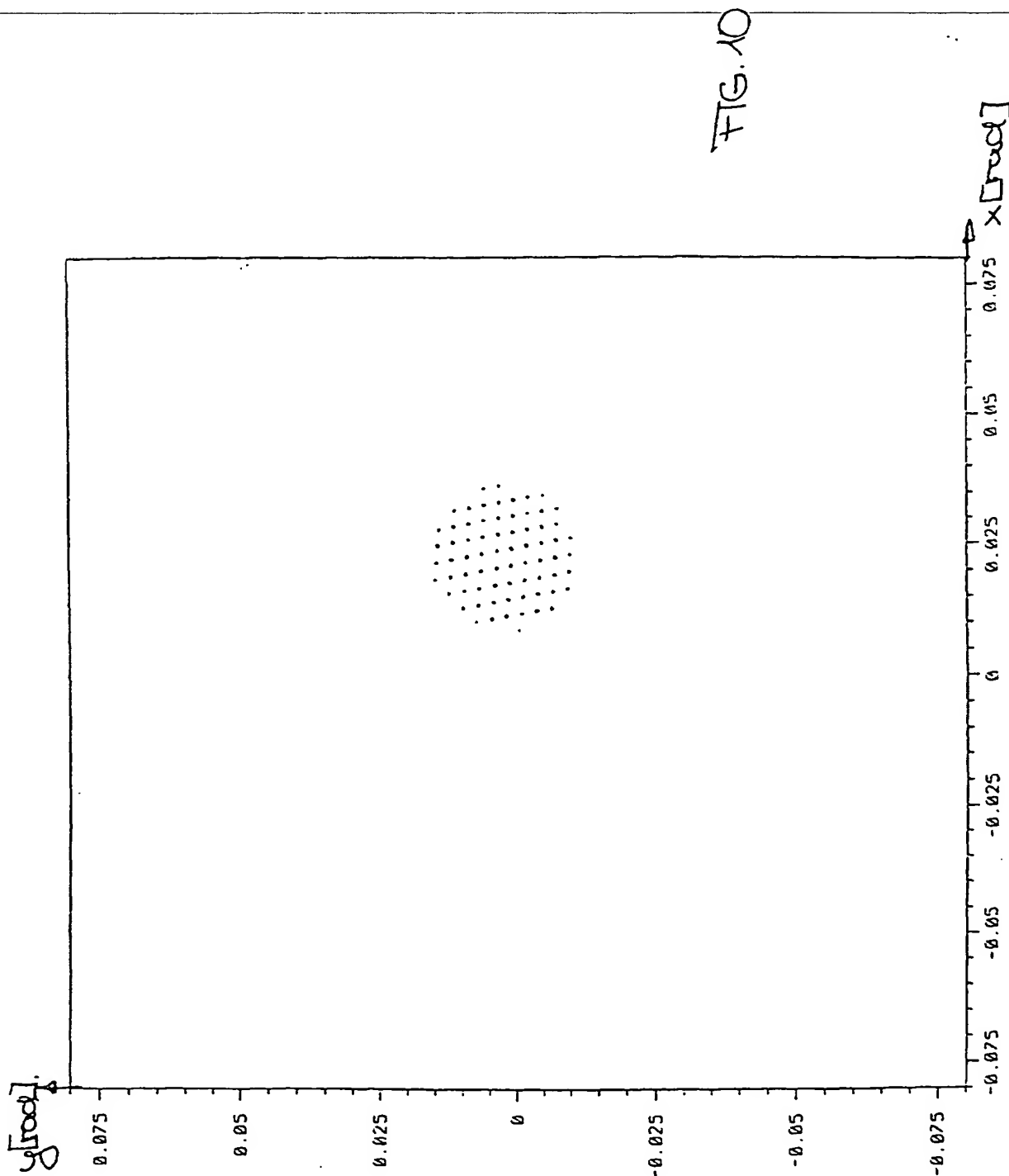
FIG 6D

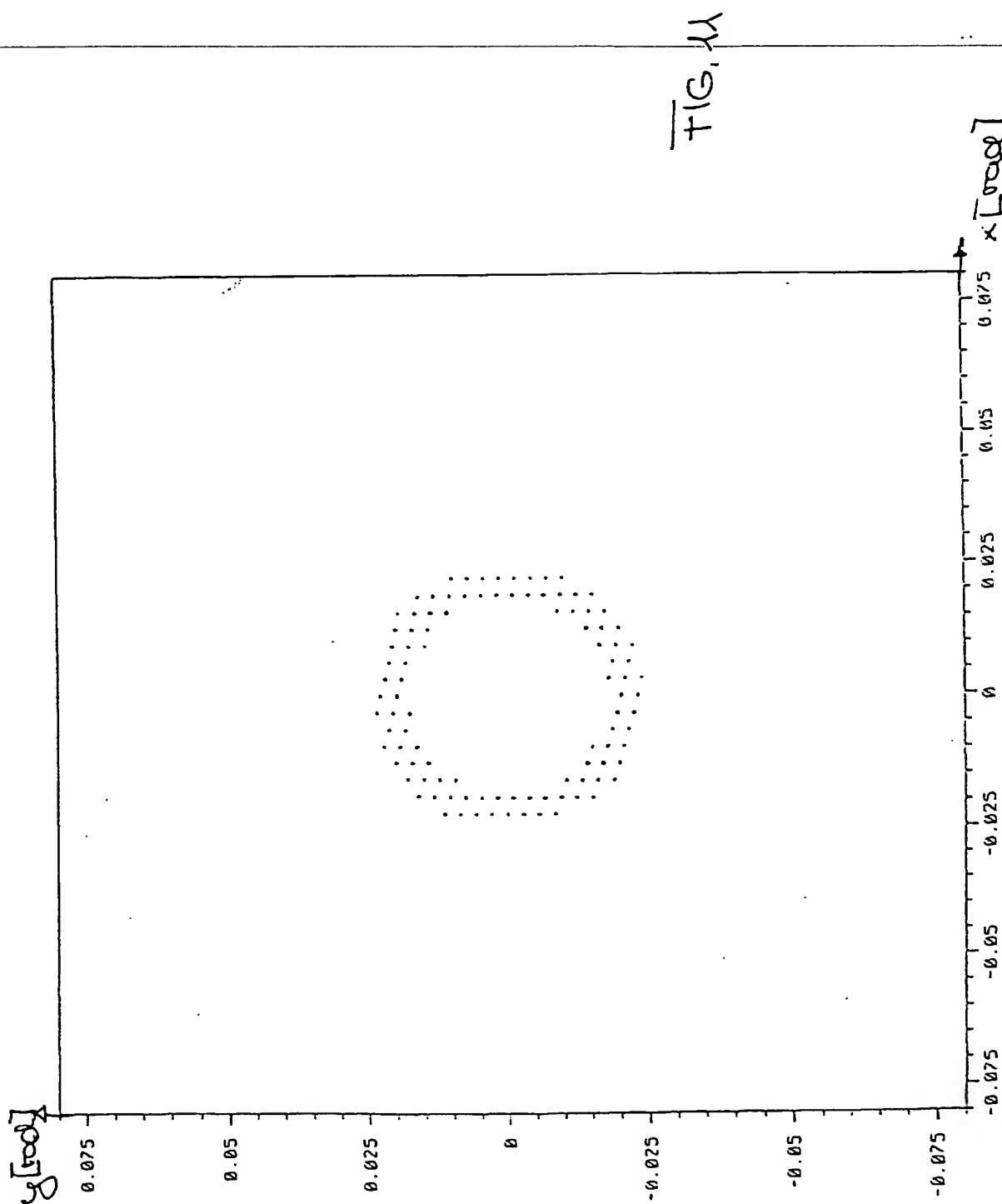












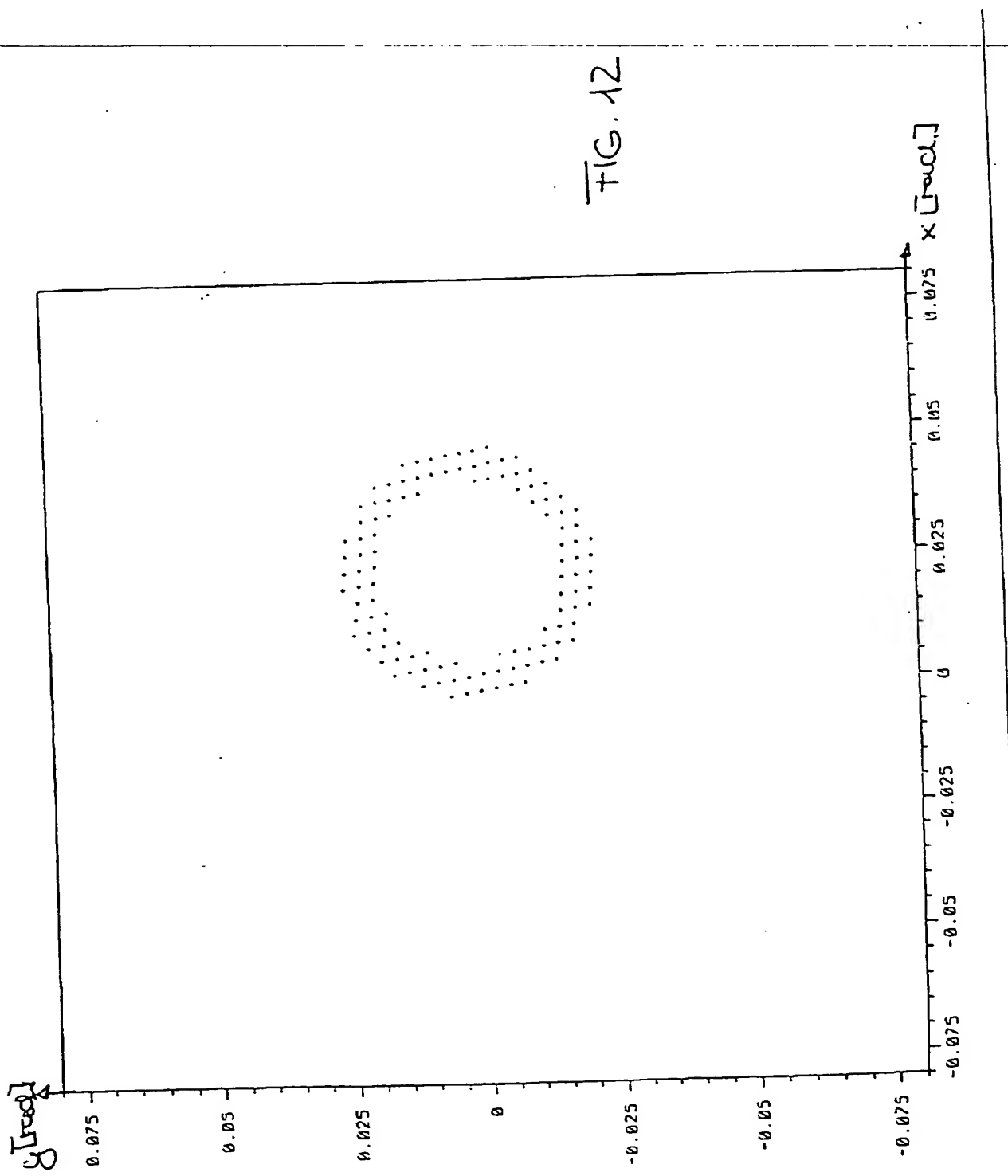
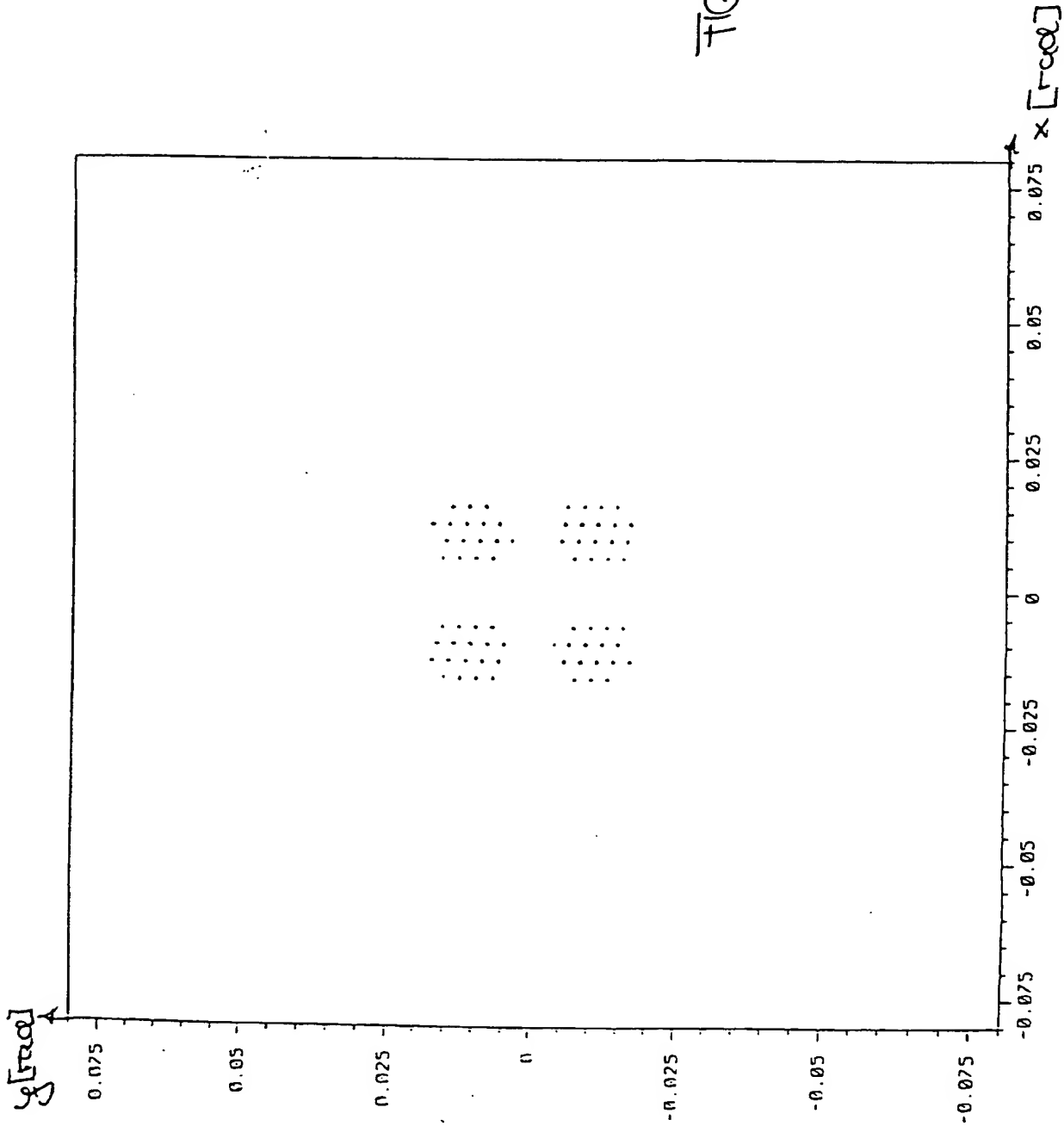
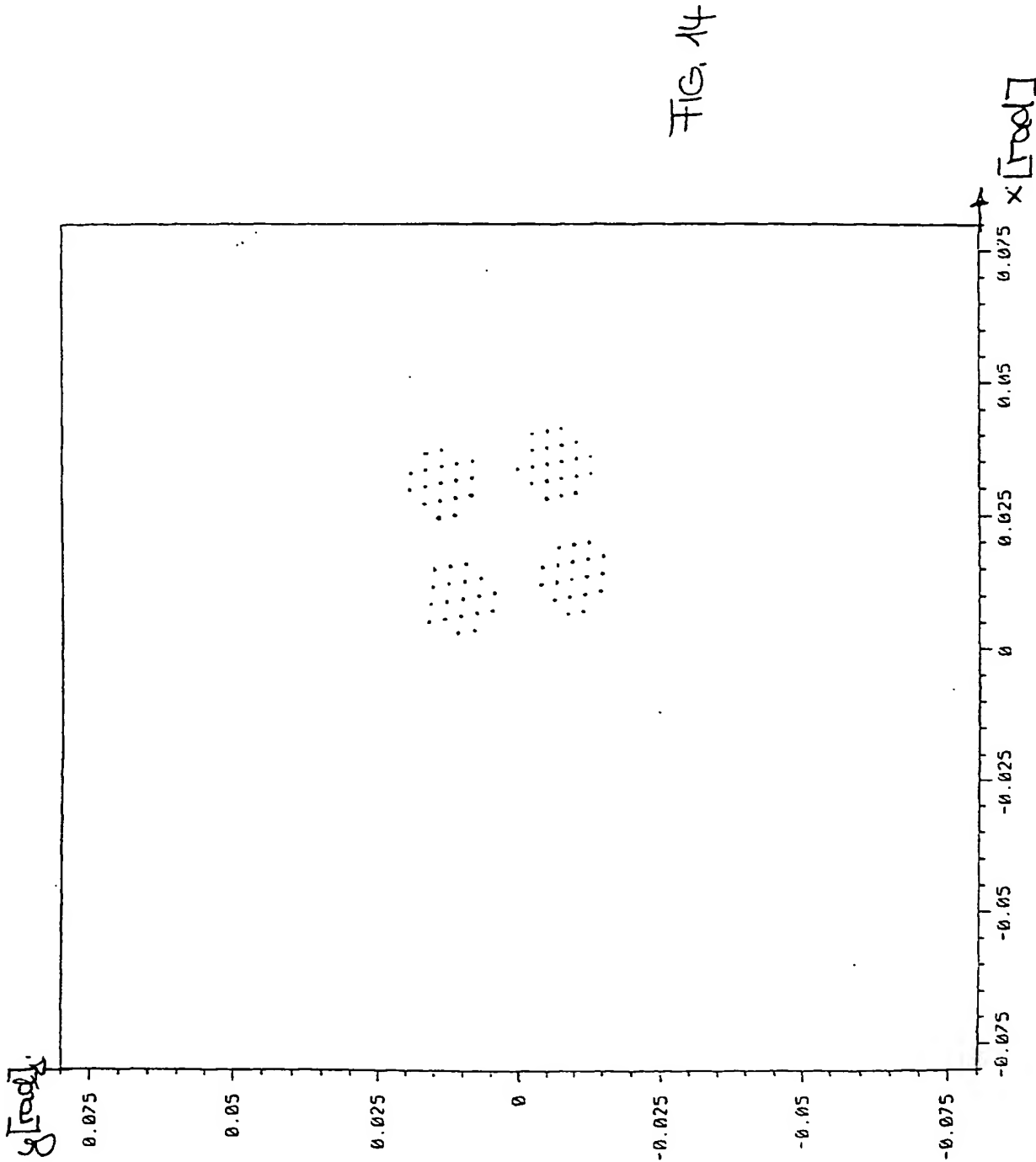


FIG. 13





Integrale Scanenergie in der Retikelebene

$\sigma = 1.0$

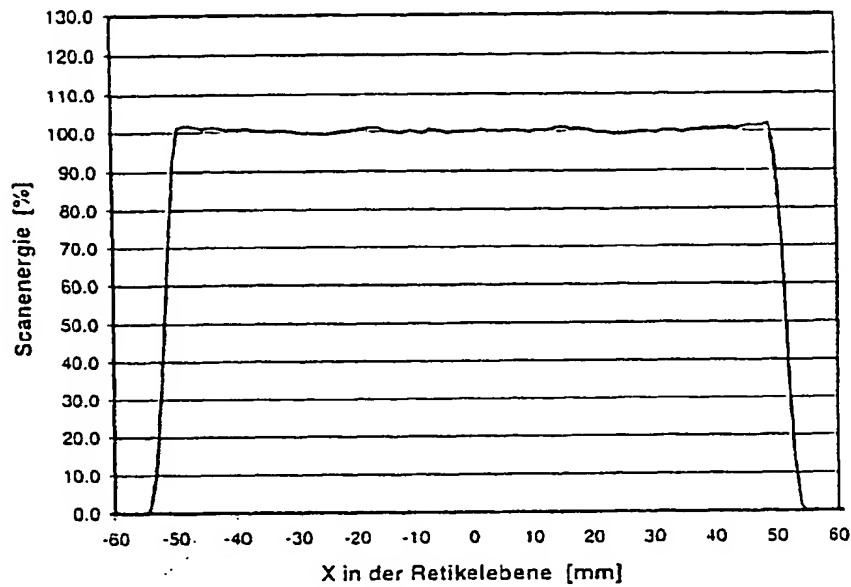


Fig. 15

Integrale Scanenergie in der Retikelebene

$\sigma = 0.6$

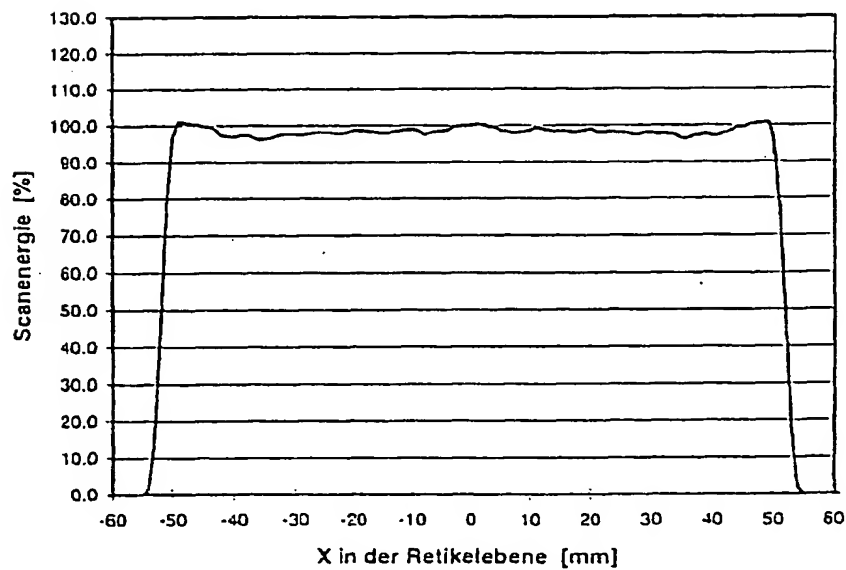


Fig. 16

Integrale Scanenergie in der Retikelebene

$$G_{out}/G_{in} = 1.0/0.7$$

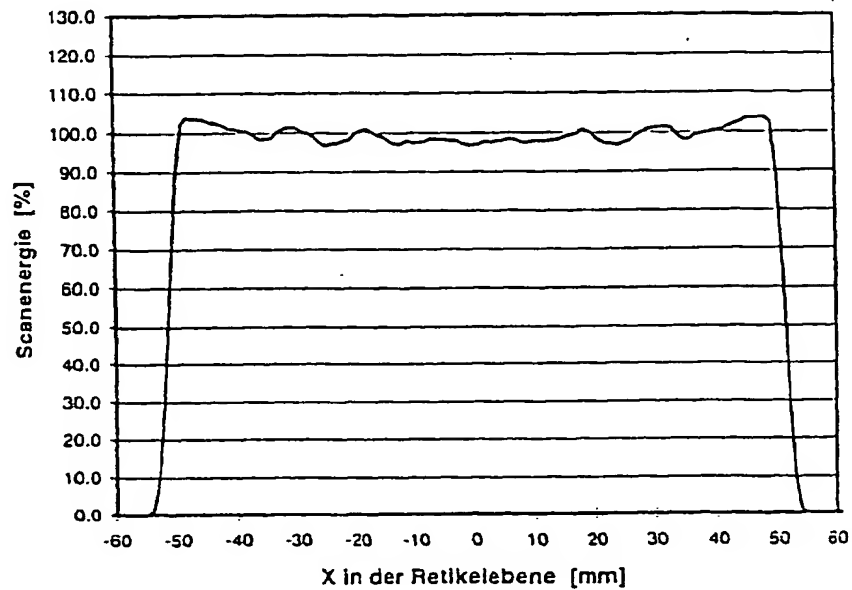


Fig. 17

Integrale Scanenergie in der Retikelebene
Quadrupol-Beleuchtung

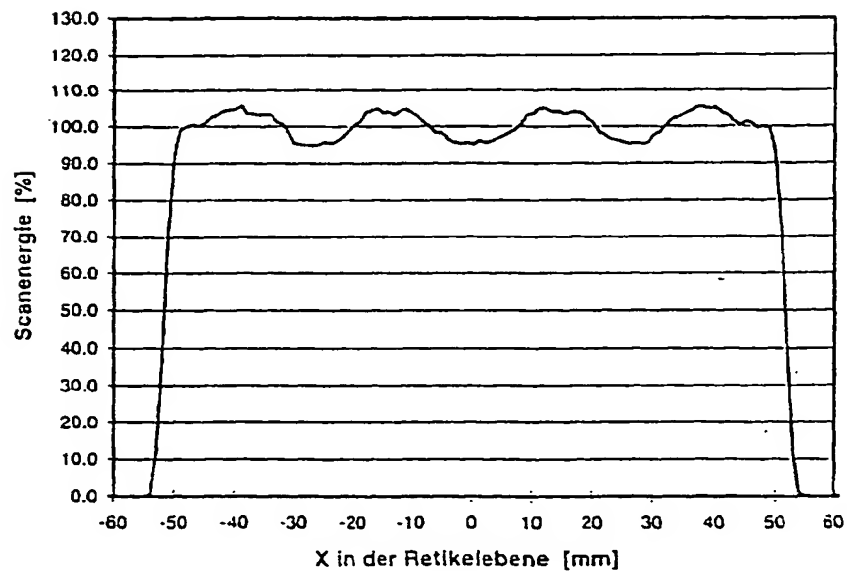
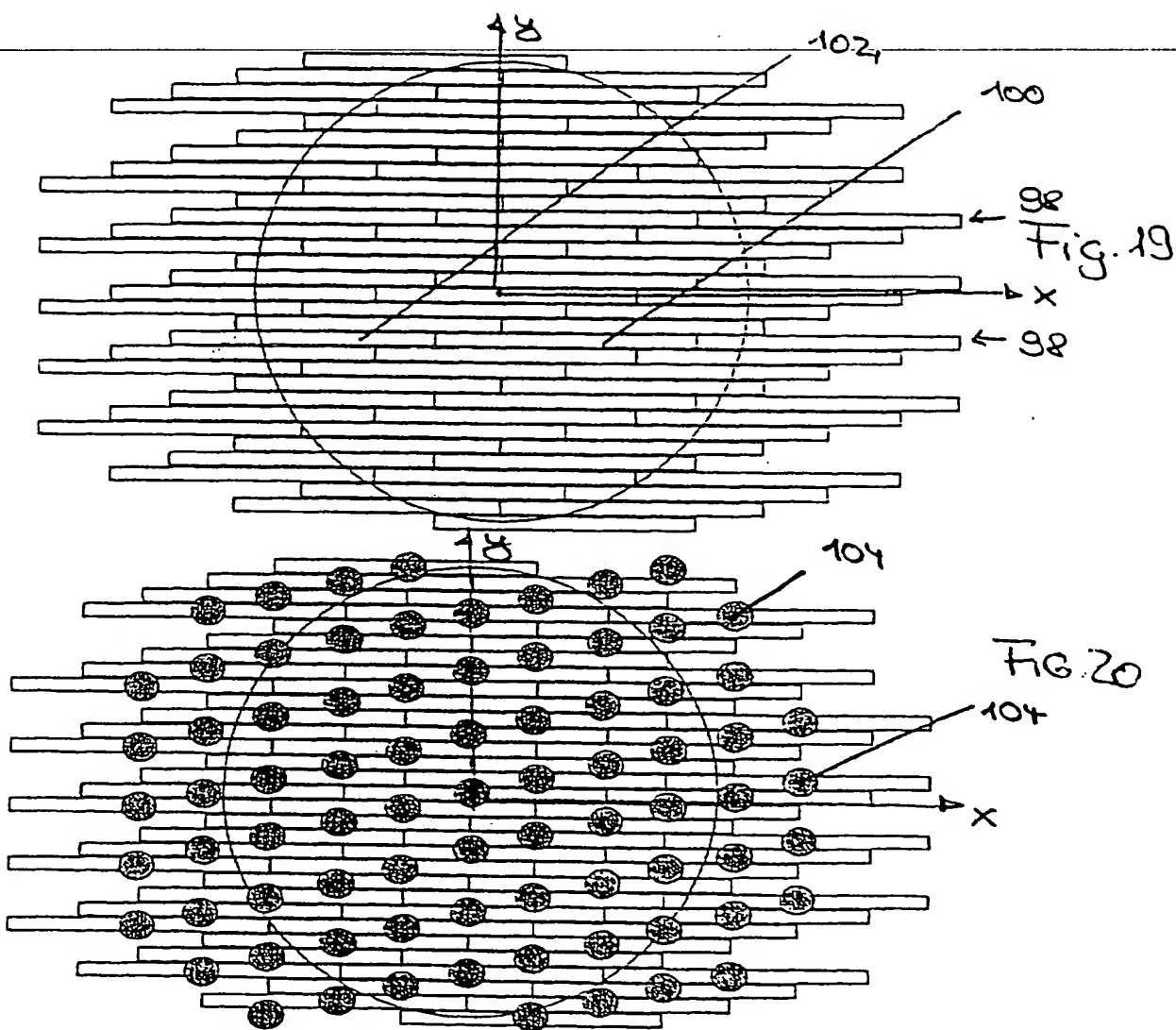
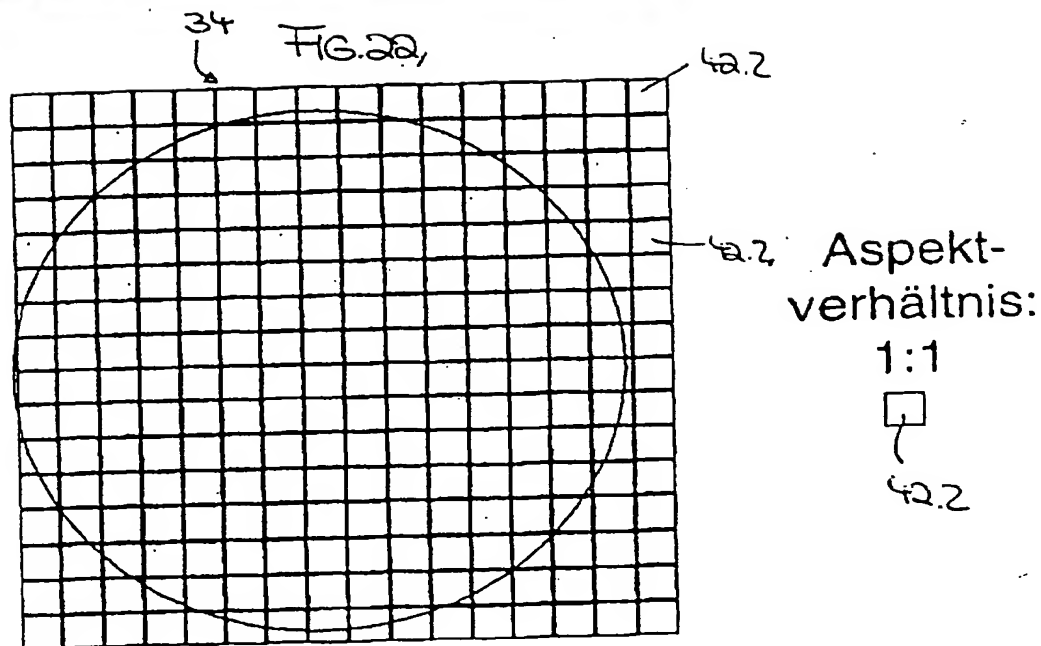
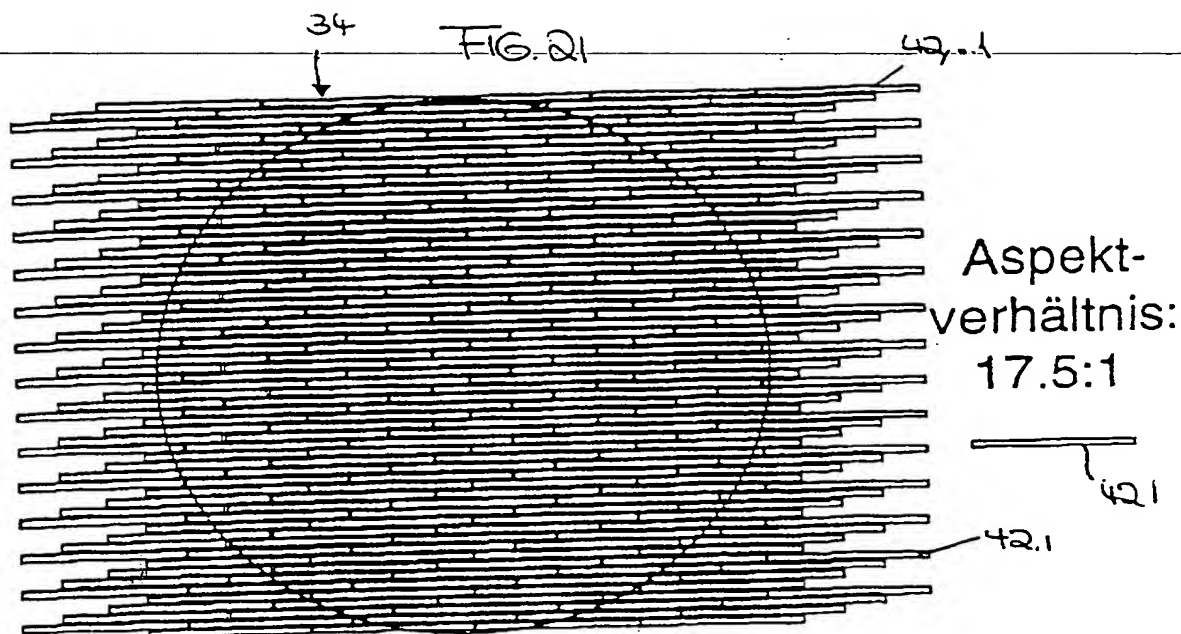


Fig. 18





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)